



Det här verket har digitaliserats vid Göteborgs universitetsbibliotek och är fritt att använda. Alla tryckta texter är OCR-tolkade till maskinläsbar text. Det betyder att du kan söka och kopiera texten från dokumentet. Vissa äldre dokument med dåligt tryck kan vara svåra att OCR-tolka korrekt vilket medför att den OCR-tolkade texten kan innehålla fel och därför bör man visuellt jämföra med verkets bilder för att avgöra vad som är riktigt.

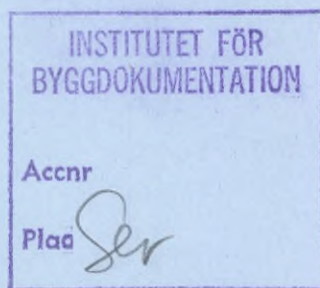
This work has been digitized at Gothenburg University Library and is free to use. All printed texts have been OCR-processed and converted to machine readable text. This means that you can search and copy text from the document. Some early printed books are hard to OCR-process correctly and the text may contain errors, so one should always visually compare it with the images to determine what is correct.



Fastbränsleeldning i villapannor

Verkningsgrad vid direkteldning
respektive ackumulatoreldning

Lars Rudling



V. /

R4:1987

FASTBRÄNSLEELDNING I VILLAPANNOR

Verkningsgrad vid direkteldning
respektive ackumulatordeldning

Lars Rudling

Denna rapport hänförs till forskningsanslag 830241-7
från Statens råd för byggnadsforskning till Studsvik
Energiteknik AB, Nyköping.

REFERAT

Projektets målsättning har varit att jämföra energiverkningsgraden vid olika driftsmetoder som används vid vedeldning i villapannor, dvs

- direkteldning (förbrukningsstyrd effektereglering),
- ackumulatordeldning (intermittent eldning och energilagring i ackumulator),
- användning av förugn.

Försöken utfördes dels i en traditionell villapanna - kylld eldstad med överförbränning - dels i en modern panna med keramikisolerad eldstad/brännkammare. Två olika styckevedeldade keramiska förugnar undersöktes också. Vid försöken uppmättes pannverkningsgrad samt emission av stoft och tjära.

Beträffande ackumulatorsystemen undersöktes syretillförsel och isolationsförluster.

Undersökningen visade att vid ackumulatordeldning i den traditionella vedpannan erhöles en högre pannverkningsgrad, ca 60%, än vid direkteldning som gav ca 50%. Ackumulatordeldning i keramikpannan respektive den keramiska förugnen (ansluten till överförbränningspannan) gav en pannverkningsgrad på 65% resp 49% (stora isolationsförluster).

Undersökning av syretillförseln till olika ackumulatorsystem visade att

- vid användning av ackumulatorsystem, med regelmässig upp/ urladdning erhålls en större syretillförsel till värmesystemet än i konventionella system utan ackumulator,
- vid både trycktankar med expansionskärl och övertrycksfria tankar med paraffinfilm erhålls en syretillförsel i en storleksordning som kan innebära korrosionsproblem.

I Bygghörskningsrådets rapportserie redovisar forskaren sitt anslagsprojekt. Publiceringen innebär inte att rådet tagit ställning till åsikter, slutsatser och resultat.

R4:1987

ISBN 91-540-4678-5

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Svenskt Tryck Stockholm 1987

INNEHÅLL

0	SAMMANFATTNING	4
1	INLEDNING	10
2	ALLMÄN BAKGRUND	12
2.1	Tidigare undersökningar	12
2.2	Pannsystem och driftförfarande vid eldning med styckeved i vedpannor	15
3	ACKUMULATORSYSTEM	18
3.1	För- och nackdelar med ackumulator-system	18
3.2	Trycktankar	18
3.3	Övertrycksfria system	19
3.4	Kopplingsalternativ ackumulator-panna	19
3.5	Val av tankstorlek	20
4	VERKNINGSGRAD - DEFINITION AV OLIKA BEGREPP - METODER	22
4.1	Olika verkningsgradbegrepp	22
4.2	Bestämning av pannverkningsgrad	23
5	FÖRSÖKSUTFÖRANDE	26
5.1	Undersökta system, provuppställning	26
5.2	Undersökningsmetodik	26
5.3	Eldningsförfarande	28
5.4	Mätmetoder	29
6	RESULTAT	32
6.1	Verkningsgrad	32
6.2	Rökgasemissioner	34
6.3	Isolationsförluster från ackumulator-system	36
7	DISKUSSION	37
7.1	Verkningsgrad och rökgasemissioner	37
7.2	Ackumulatorsystem	39
7.3	Förugnar	41
7.4	Reproducerbarhet	42
7.5	Miljöproblem	42
7.6	Sammanfattande synpunkter	43
8	KORROSIONSPROBLEM I ACKUMULATORSYSTEM	45
8.1	Allmän bakgrund	45
8.2	Experimentella försök	46
8.3	Resultat	47
8.4	Diskussion	47
	LITTERATUR	55
	Tabellbilaga	
	Figurbilaga	

0 SAMMANFATTNING

0.1 Allmän bakgrund och målsättning

Det finns idag i Sverige en betydande outnyttjad vedbränslepotential i träd och trädrester som inte har någon alternativ användning. I småhusfastigheter finns också ett stort pannbestånd, ca $\frac{1}{2}$ miljon oljeeldade pannor, som skulle kunna helt eller delvis konverteras för eldning med fasta bränslen.

Eldning med ved i dagens villapannor är emellertid i de flesta fall en relativt arbetskrävande metod samtidigt som problem med sot och tjärbildning ofta erhålls. En av orsakerna till dessa problem är att värmebehovet oftast är väsentligt lägre än pannans nominella effekt. Detta innebär att om pannan eldas kontinuerligt och effekten regleras efter värmebehovet - s k direkteldning - kommer pannan att under huvuddelen av driftstiden endast gå på dellast, vilket ofta ger ofullständig förbränning och en låg verkningsgrad.

För att bli eliminerat dessa problem brukar eldningsförfarandet intermittert eldning och uppladdning/energilagring i en ackumulatortank innehållande vatten tillämpas s k ackumulatoreldning. Pannan kan då eldas intermittert och vid full effekt, vilket normalt anses ge en bättre pannverkningsgrad och slutförbränningsgrad än drift av pannan på dellast.

Om vedbränslen skall eldas i pannor mindre lämpade/-arbetskrävande för vedeldning t ex kombipannor, har - som ett alternativ till utbyte av pannan - på senare år olika förugnar för eldning av styckeved kommit i marknaden. Någon undersökning/redovisning av förugnarnas verkningsgrad finns ej.

Eftersom mindre pannanläggningar typ villapannor idag helt saknar någon form av - av officiell instans dokumenterade - prestanda och funktionsgarantier, är det svårt - för att inte säga omöjligt - att jämföra den verkliga kostnaden vid olika anläggningsalternativ. I jämförelse med anläggningens kapitalkostnad kan det kapitaliserade värdet av små bränslebesparingar bli betydande. Av detta skäl kan även relativt små skillnader i verkningsgrad innebära stora skillnader i drift/bränslekostnader.

I föreliggande projekt har målsättningen varit att undersöka eventuella skillnader i pannverkningsgrad mellan de två olika huvuddriftsätten vid vedeldning i dels en traditionell vedpanna med kyld eldstad dels i en panna med keramikisolerad eldstad/brännkammare. En styckeved eldad keramisk förugn ansluten till en panna undersöktes också. De två driftsätten som undersöktes var

- direkteldning (förbrukningsstyrd effektregering)

- intermittent eldning, energilagring i ackumulator

Dessutom har emissionen av oförbränt, stoft och tjärhalt uppmätts.

Beträffande ackumulatorsystemen har följande parametrar bestämts

- syreintransport till ett "trycklöst" ackumulatorsystem utan expansionskärl respektive ett traditionellt trycksatt ackumulatorsystem med ett öppet expansionskärl (korrosionsrisk)
- isolationsförluster från ackumulator

Undersökningen har utförts på uppdrag av Byggforskningsrådet, BFR.

0.2 Resultat

0.2.1 Verkningsgrad

Försöksresultaten har sammanfattats i nedanstående tabell.

Tabell 1 Verkningsgrad vid olika driftsmetoder

Undersökt system	Drifts- förfarande	Pannverk- ningsgrad ¹⁾	Värmeverk- ningsgrad ²⁾	Förbrännings- verkningsgrad
		%	%	%
Magasinspanna med omvänd förbränning. Kylt vedmagasin och keramiskt isolerad hård och brännkammare	ackumula- ³⁾ toreldn	65	74	98
Överförbränningspanna med vattenkyld eldstad	ackumula- ³⁾ toreldn	60	63	94
" -	direkt- eldning	50	56	<91
Keramikisolerad förugn med underförbränning kopplad till överförbränningspanna med kyld eldstad (samma som ovan)	ackumula- ³⁾ toreldn	49	73	98

1) Medelvärde av samtliga försök.

2) Pannverkningsgrad + omgivningsförluster (isolationsförluster).

3) Eldning 1 gång per dygn.

Försöken visade att:

- En analys av precisionen vid bestämning av pannverkningsgraden gav en procentuell standardavvikelse på 3 %.
- Ackumulatoreldning i en överförbränningspanna med en kyld eldstad gav en pannverkningsgrad som var 10 % högre än vid direkteldning i samma panna. Detta motsvarar en bränslebesparing på 17 %, om det antas att ackumulatorförlusterna tillgodogörs.
- Ackumulatoreldning i den keramikisolerade förugnen gav en lägre pannverkningsgrad, 49 %, än ackumulatoreldning i den keramikisolerade magasinspannan respektive överförbränningspannan med kyld eldstad som gav en verkningsgrad på 65 % respektive 60 %.
- Beträffande de olika energiförlusternas fördelning konstaterades att i överförbränningspannan med kyld eldstad var omgivningsförlusterna lägre respektive förbränningsförlusterna högre i jämförelse med den keramikisolerade magasinspannan och förugnen.
- Ackumulatoreldning i den keramikisolerade magasinspannan respektive förugnen gav den högsta värme- och förbränningsverkningsgraden.
- Vid ackumulatoreldning i den keramikisolerade magasinspannan, som ackumulerar stora energimängder, erhöles stora genomströmningsförluster, ca 5 %, om inte dragluckstängare används.
- Vid bestämning av pannverkningsgraden vid ackumulatoreldning i pannor som ackumulerar stora energimängder t ex keramikpannor måste hänsyn tas till den effekt som pannan ger efter att fyren brunnit ut.
- Förugnens brännardys gav periodvis en instabil flammhållning.
- Förugnen gav förbränningstekniskt sett - då brännardysan fungerade - en exceptionellt god slutförbrännings/förbränningsverkningsgrad.
- För att bättre utnyttja ackumulatorns kapacitet bör automatiska pannshunt/laddningsventiler användas för att reglera pannans framledningstemperatur.

0.2.2 Rökgasemissioner

Emissionsdata sammanfattas i nedanstående tabell.

Emissionsdata

Undersökt system	Drifts- förfarande	Stoft mg/MJ	Tjårhalt mg/MJ	Stoft/tjårpåslag i skorsten gram/m ² vid 100 kg uppeldad bränsle- mängd
Magasinspanna med omvänd förbränning. Kylt ved- magasin och keramiskt isolerad hård och bränn- kammare	ackumula- toreldn	33	6	<5 (löst sittande grå aska)
Överförbränningspanna med vattenkyld eldstad	ackumula- toreldn	110	220	10 (löst sittande sot)
" -	direkt- eldning	190	1100	70 (inbränd tjära/ sot)
Keramikisolerad förugn med underförbränning kopplad till överför- bränningspanna med kyld eldstad (samma som ovan)	ackumula- toreldn	66	55	<5 (löst sittande grå aska)

I samband med vedinlägg erhöles i överförbränningspannan mycket höga emissioner av sot och tjära. Vedinlägg i magasinspannan med keramikisolering och omvänd förbränning respektive förugnen med underförbränning kunde ske praktiskt taget utan sot/tjäremission.

0.2.3 Isolationsförluster i ackumulator

Isolationsförlusterna i en 2 m³ ackumulator isolerad med 150 mm mineralull uppmättes till 3 - 5 kWh/m³ tankvolym och dygn.

0.3 Allmänna slutsatser och rekommendationer

Vid en jämförelse av verkningsgrader mellan olika system bör man lägga märke till att en viss procentuell verkningsgradförbättring ger en högre procentuell bränslebesparing. En förbättring av verkningsgraden med 10 % t ex 50 till 60 % ger en bränslebesparing på 17 %. Av detta skäl är även små skillnader i verkningsgrad mellan olika system av intresse.

I många panninstallationer kan under en stor del av året pannans omgivningsförluster tillgodogöras. Av detta skäl bör vid uppmätning/dokumentation av pannprestanda, förutom pannverkningsgrad, alltid också värmeverkningsgraden anges. Detta mätetal är

sannolikt i många installationer mer relaterat till den faktiska bränsleförbrukningen/kostnaden än pannverkningsgraden.

Vid uppmätning/redovisning av pannprestanda bör därför pannverknings- och värmeverkningsgrad uppmätas vid både ackumulatordeldning och direkteldning. Undersökta effektnivåer vid direkteldning bör väljas med utgångspunkt från varaktighetsdiagram för effektbehov under året.

En jämförelse av uppmätta verkningsgrader vid ackumulatordeldning av samma panna, i denna undersökning respektive i ett laboratorieförfarande vid Statens Provningsanstalt, visar på anmärkningsvärt stora skillnader, ca 10 %. Dessa resultat visar att en översyn av tillämpade metoder är synnerligen angelägen.

För att undvika risk för soteld, minimera miljöproblem och samtidigt erhålla en hög värmeverkningsgrad måste vid styckevedeldning driftsförfarandet ackumulatordeldning alltid tillämpas och en eldstad med en hög förbränningsverkningsgrad användas. Eldning i en vattenkyld eldstad är av detta skäl mindre lämpligt.

Kombinationen förugn/panna ger en relativt låg pannverkningsgrad. Anslutning av en keramisk förugn till en panna ger ej en förbättrad pannverkningsgrad, såvida inte pannans förbränningsverkningsgrad är extremt dålig.

Tillförsel av förbränningsluft med övertryck, som sker till en typ av förugn, måste betecknas som en stor potentiell hälsorisk.

Vid användning av övertrycksfria system med direkt värmeväxling föreligger stor risk för stopp av pannvattencirkulationen på grund av ångblåsor i cirkulationspumpen. Cirkulationspumpen bör i dessa system därför monteras i den lägsta punkten.

Denna undersökning och tidigare undersökningar visar på stora skillnader i verkningsgrad mellan olika pannor för vedeldning. Av detta skäl är det ett starkt önskemål att fabrikanten dokumenterar/redovisar pannprestanda i jämförbara termer. För andra energiprodukter t ex värmepumpar är dokumentation av prestanda ett krav för t ex erhållande av lån.

0.4 Korrosionsproblem i ackumulatorsystem

Syretillförseln till två olika typer av ackumulatorsystem har undersökts enligt nedan:

- konventionellt system med trycktank och expansionskärl öppet mot atmosfären.
- övertrycksfritt ("trycklöst") system utan expansionskärl med paraffinfilin för reducering av syrediffusionen.

Resultaten visar följande:

- vid användning av ackumulatorsystem, med regelmässig upp/urladdning erhålls en större syretillförsel till värmesystemet än i konventionella system utan ackumulator.
- vid både trycktankar med expansionskärl och övertrycksfria tankar med paraffinfilm erhålls en syretillförsel i en storleksordning som kan ge problem som en följd av korrosion.

1 INLEDNING

Med dagens höga energikostnader innebär även små variationer i värmeanläggningars verkningsgrad stor skillnad i driftskostnad. I jämförelse med anläggningens kapitalkostnad kan det kapitaliserade värdet av små bränslebesparingar bli betydande. Mindre anläggningar typ villapannor saknar dock idag prestanda och funktionsgarantier, varför det är svårt - för att inte säga omöjligt - att jämföra olika anläggningars investerings-driftskostnadsförhållande vid olika energialternativ.

I olika tidigare undersökningar har kunnat konstateras att förbränning av vedbränslen i flertalet mindre anläggningar - speciellt villapannor - ger en relativt låg verkningsgrad. Endast ca hälften av bränslets tillgängliga energiinnehåll utnyttjas! Dessutom erhålls vid vedeldning i villapannor ibland miljöproblem på grund av ofullständig förbränning.

En huvudanledning till att problem uppstår vid vedeldning i villapannor, är att värmebehovet oftast är väsentligt lägre än pannans nominella effekt. Detta innebär att pannan - vid eldningsförfarandet direkteldning¹⁾ - under en stor del av driftstiden endast går på dellast, vilket ofta ger problem i form av ofullständig förbränning och en låg verkningsgrad. För att bli eliminera dessa problem brukar eldningsförfarandet intermittent eldning och uppladdning/energilagring i en ackumulator tillämpas. Installation av ackumulator är dock ofta förenat med praktiska utrymmesproblem. På senare tid har emellertid olika trycklösa (övertrycksfria) ackumulatorsystem konstruerats, vilka medger att ackumulatören lättare kan inpassas i befintlig byggnad.

I föreliggande projekt har målsättningen varit att undersöka eventuella skillnader i pannverkningsgrad mellan de två olika huvuddriftsätten vid vedeldning i dels en traditionell vedpanna med kyld eldstad dels i en panna med keramikisolerad eldstad/brännkammare. De två driftsätten som undersöktes var

- direkteldning¹⁾ (förbrukningsstyrd effektreglering)
- intermittent eldning, energilagring i ackumulator

Dessutom har emissionen av oförbränt, stoft och tjärhalt uppmätts.

Som ett intressant alternativ för vedeldning i eldstäder mindre lämpade för vedeldning t ex kombipannor, har också en styckevedseldad förugn undersökts. Beträffande ackumulatorsystemen har följande parametrar bestämts

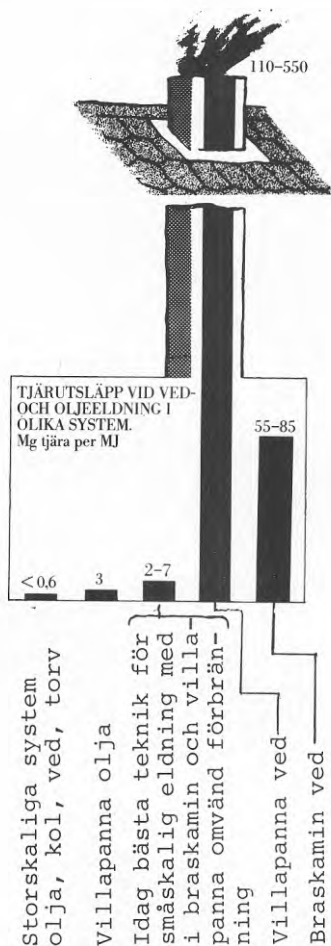
- 1) Pannan eldas kontinuerligt och effekten regleras efter värmebehovet.

- syreintransport till ett "trycklöst" ackumulatorsystem utan expansionskärl respektive ett traditionellt trycksatt ackumulatorsystem med ett öppet expansionskärl (korrosionsrisk)
- isolationsförluster från ackumulator

Undersökningen har utförts på uppdrag av Byggforskningsrådet, BFR.

2.1 Tidigare undersökningar

I flera olika undersökningar (8, 10, 14, 16, 17, 21) har kunnat konstateras att vedeldning i mindre förbränningsanläggningar med satsvis bränsletillförsel - framförallt villapannor - ofta ger en mycket ofullständig förbränning, med emission av sot och tjära som följd. Emissionsnivån av tjära från olika förbränningsanläggningar visas i nedanstående figur 1. Detta har i en del kommuner resulterat i vedeldningsrestriktioner, vilket hindrat en introduktion av inhemska bränslen.



Figur 1.

Undersökningar (6-9, 20) av pannverkningsgraden vid vedeldning i villapannor har också visat att verkningsgraden hos flertalet pannor är relativt låg 50 - 60 %.

Huvudanledningen till den dåliga verkningsgraden och slutförbränningsgraden i mindre fastbränsleeldade system är bl a:

- satsvis bränsletillförsel, vilket ger en stor variation i förbränningsbetingelserna
- för låg förbränningstemperatur, t ex kylde eldstäder
- ofullständig effektreglering, vilket tidvis medför pyrelldning i pannan med stora tjär/-sotavsättningar i pannans konvektionsdelar
- dåligt utformade system för gas/sekundärförbränning. Kylde förbränningsrum, instabila flammor med otillräcklig turbulens för inblandning av sekundärluft
- rök-gastemperatur och flöde varierar, vilket ger en varierande verkningsgrad

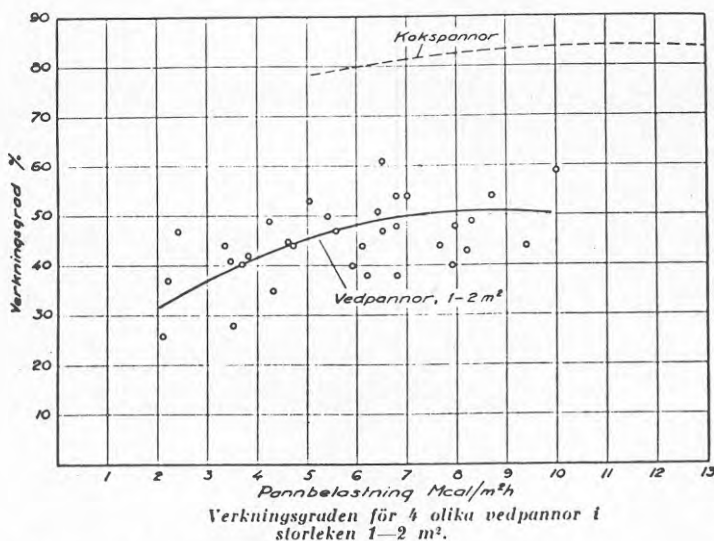
Vid undersökningar som företogs av Rydberg vid dåvarande Kungliga Byggnadsstyrelsens Pannlaboratorium år 1942 (8) kunde konstateras att

"Den bild man genom de visade diagrammen får av vedpannornas prestationer är ganska skrämmande. Det måste anmärkas, att vissa pann typer visat sig gå avsevärt bättre än andra, men om man räknar med genomsnittet, är det såsom framgår av figur 1, egentligen endast vid stora pannor och hög belastning som vedpannornas verkningsgrad i någon mån närmar sig kokspannornas. Vid låga belastningar blir även vid stora pannor förbränningsresultatet dåligt. Det är emellertid icke nog med att förbränningsresultatet försämras vid minskande belastning, utan detsamma gäller även vid minskande pannstorlek. Som framgår av figur 3 blir skillnaden i verkningsgrad mellan små vedpannor och kokspannor häpnadsväckande stor. Detta är så mycket mer beklagligt, som just de små vedpannorna har en stor uppgift att fylla på hela vår med brännved självförsörjande landsbygd.

Orsaken till det dåliga förbränningsresultatet är uppenbarligen att söka i för låg förbränningstemperatur. Även otillfredsställande gasblandning kan vara en bidragande orsak.

I många fall synes dock icke ens de grundläggande förutsättningarna för en förbränning vara uppfyllda. Fyr- och flamtemperaturen understiger sålunda ofta det gränsvärde, under vilket förbränningen försvåras eller omöjliggörs på grund av för låg kemisk reaktionshastighet.

Då felet är av så grundläggande och med hänsyn till sitt resultat så allvarlig natur, frågar man sig, om de principer, som tillämpas för hittills framkomna vedpannor, verkligen äro bärkraftiga. De flesta vedpannor äro byggda efter samma huvudprincip som kokspannorna, alltså med ett helt vattenkylt magasin. Vid många fabrikat har sedan, med avsikt att skydda fyren och flammorna för alltför stark avkylning, delar av eldytan isolerats med tegel eller på annat sätt. Dessa åtgärder äro naturligtvis lämpliga, men frågan är om de kvantitativt sett äro tillräckliga. Det kan tänkas och det förefaller även sannolikt, att den isolering, som behövs, är av en helt annan storleksordning. Det är t o m möjligt att man, för att nå tillfredsställande resultat, måste helt undvika all vattenkylning i de delar av pannan, där förbränning äger rum."



Figur 2. Kungliga Byggnadsstyrelsens undersökning av vedpannor åren 1937 - 1939 (1 mcal/h = 1.16 kW) publicerat av J Rydberg 1942.

Flertalet vedpannor av idag torde ej principiellt nämnvärt avvika från dessa tidigare konstruktioner.

Som en följd av Byggnadsstyrelsens nedslående undersökningar av verkningsgraden i vedpannor föreslogs en

provningsmetod/standard år 1944. Detta förslag ledde dock ej till någon direkt tillämpad standard av industrin. Idag tillämpas ej heller någon prestanda-provning av pannor. Någon prestandadokumentation/-garanti för pannor finns alltså inte.

Detta är mycket beklagligt eftersom det kapitaliserade värdet av bränsle/drifstkostnaderna väsentligt överstiger en anläggnings investeringskostnad.

2.2 Pannsystem och driftförfarande vid eldning med styckeved i vedpannor

Ett grundproblem vid vedeldning i villapannor är att kunna anpassa/reglera pannans effekt efter värmebehovet. Om man utgår från ett varaktighetsdiagram över effektbehovets fördelning under ett år, figurbilaga 2, finner man för en normalvilla i mellansverige med oljeförbrukningen ca 3 - 4 m³ att det maximala effektbehovet vid lägsta dimensionerande utetemperatur är ca 8 - 10 kW. Detta innebär att endast under ca 300 timmar per år är effektbehovet större än 6 kW.

Ofta har vedpannor installerade i villor en nominell effekt på ca 20 - 25 kW, vilket innebär att om driftförfarandet direkteldning tillämpas kommer pannan under huvuddelen av drifttiden att gå på dellast/underhålls fyr. Att driva en vedpanna vid en så låg dellast som 5 - 6 kW innebär ofta pyreldning med tjär och sotbildning. Detta ger förutom förbränningsförluster och miljöproblem stora tjär/sot avsättningar i rökgaskanalerna vilket ger en ökad risk för skorstensbrand.

En metod att lösa låglast/pyreldningsproblematiken är att använda pannan i kombination med en ackumulator. Eldning i pannan kan då ske på fullast vid konstanta driftsförhållanden, vilket normalt ger en bättre slutförbränning och verkningsgrad.

Det bör dock poängteras att även om driftförfarandet intermittent eldning och energilagring i ackumulator tillämpas så krävs vissa elementära förbränningstekniska grundförutsättningar för att en acceptabel slutförbränning skall uppnås. Jämför med Rydbergs undersökning. Undersökningar vid Statens Provningsanstalt har visat att flertalet pannor (alla utom en) ger en tjäremission som är avsevärt högre ≥ 150 mg/MJ än Naturvårdsverkets förslag till emissionsnorm på 10 mg tjära/MJ.

Ett annat sätt att lösa effektregeringsproblematiken är att använda driftförfarandet intermittent primär-luft i en förrådseldstad som är keramiskt isolerad, som sker i t ex Laganpannan och Thermovedpannan. I dessa system regleras effekten med en on/off-reglering av primärluftspjäll och rökgasfläkt. När pannan kommit upp i max temperatur stängs primärluftspjäll och rökgasfläkt. Eftersom sekundärlufttillförseln fortfarande är öppen kommer skorstensdraget att ge

ett visst rökgasflöde även i pannans off-driftläge, som är ca $1/3 - 1/5$ i jämförelse med flödet vid fläkten påslagen. Den låga rökghastigheten i sekundärförbränningskammaren ger dålig turbulens med en låg slutförbränningsgrad i denna driftsfas. Beroende på i vilket förbränningsstadium den inlagda veden befinner sig i, sker även i off-driftläge en förgasning/pyrolys av veden. Om veden t ex fortfarande "gasar" i off-driftläge kan oförbränd tjära kondensera i konvektionsdelarna. Denna tjära re-emitteras sedan i pannans on-driftläge då rökghastemperaturen ökar. Mätningar vid Statens Provvningsanstalt (21) och Studsvik Energiteknik AB (20) har visat att regler/förbränningsprincipen med intermittent primärluftreglering i isolerad/okylad förrådseldstad ger relativt höga tjäremissioner trots att förbränningen sker i en keramiskt isolerad eldstad.

Det bör därför poängteras att keramikisolering av eldstad/bränsleförråd ej alltid är någon allena saliggörande metod, utan kan faktiskt ibland ge ett sämre förbränningsresultat än en konventionell kyl eldstad. Orsaken till detta är att på grund av den omfattande högtemperaturrenergiackumuleringen i keramiken, sker vid bränsleinlägg en mycket kraftig förgasning som ej kan kontrolleras (13). Detta innebär också att luftöverskottet är svårt att kontrollera, vilket ofta medför att luftunderskott erhålls i perioden efter ett bränsleinlägg.

Genom att välja ett annat bränsle-eldningssystem t ex förbränning av flis, pellets eller briketter i ett system där bränslet kan tillföras kontinuerligt t ex en stokermata retort, erhålls väsentligt bättre förutsättningar för effektregering och jämna förbränningsbetingelser med en god slutförbränning. Detta kräver å andra sidan en högre investeringskostnad (10).

En annan teknik som kan användas är att använda en förugn. Principskisser på några sådana visas i figurbilaga 3. Detta är en intressant metod som kan tillämpas om man har en dålig eldstad för fastbränsleeldning t ex kombipanna.

Det har ofta diskuterats huruvida över, under eller omvänd förbränning, figurbilaga 4, ger den bästa verknings- och slutförbränningsgraden. Några definitiva generella slutsatser för vilken förbränningsmetod som ger det bästa resultatet är emellertid svårt att ge. Den individuella utformningen av respektive system har stor betydelse. Likaså kan man ej säga att keramiska pannor generellt sett alltid skulle vara att föredra framför andra pannor. Under förutsättning av en allmänt ändamålsenlig utformning av pannan t ex lämpliga rostareor och att förbränningsluften tillförs så att luftöverskottet kan kontrolleras, kan dock konstateras att förutsättningarna för att kunna uppnå en god slutförbränning är oftast bättre i en panna där eldstaden/gasförbrän-

ningszonen är keramiskt isolerad. Vid under respektive omvänd förbränning anses också allmänt att tjäremissionen kan reduceras i jämförelse med överförbränning.

Vid överförbränning är det ofta svårt att kontrollera fyrhöjden/avbränningshastigheten. I samband med bränsletillförsel kommer hela bränslemagasinet i brand vilket gör det svårt att kontrollera effekten/luftöverskottet. Stora vedinlägg bör därför undvikas i en överförbränningspanna.

I magasinspannor med kylt vedmagasin med underförbränning kan fyrhöjden ofta kontrolleras bättre. Detta är en klar fördel att därigenom kan bränslemagasinet/-bränslepåfyllning göras avsevärt större än i en överförbränningspanna.

Metoden omvänd förbränning har i flera olika undersökningar visat sig ge mycket låga tjärhalter. Vid framställning av t ex gengas i vedgasgeneratorer kunde konstateras att den nedåtriktade/omvända förbränningen gav den lägsta tjärhalten i gengasen (11). I ett konstruktionsförslag från 1696, figurbilaga 13, visas exempel på hur en ugn kan konstrueras utan att ge os eller rök ifrån sig (12). I motsats till ovan relaterade undersökningar har man i undersökningar vid KTH (18) funnit att omvänd förbränning ger ungefär samma tjärhalter som överförbränning. Vid dessa försök tillsattes emellertid ingen sekundärluft, vilket ger en förklaring till det mot gängse uppfattning stridande resultatet.

Det bör poängteras att en viktig förutsättning för att den omvända förbränningen skall fungera på avsett sätt är att rostyten dimensioneras rätt, samt att vedmagasin och lufttillförsel utformas så att en glödförbränning erhålls över hela rosterytan. I annat fall kan en partiell överförbränning erhållas på rosten. Sekundärlufttillförsel och ett utrymme för gasförbränning efter rosten är självfallet också nödvändigt.

Ett annat exempel på utformning av tekniska system för förbränning är Gustav Ekmans gasvällugn som under åren 1840 - 1850 utvecklade teknik för högtemperaturförbränning av ved för metallurgiskt bruk.

3 ACKUMULATORSYSTEM

3.1 För- och nackdelar med ackumulatorsystem

Genom att lagra energi i en stor ackumulatortank innehållande vatten och elda pannan intermittent kan pannan eldas vid full effekt vilket dels ger mindre problem med tjär/sot bildning dels blir mer praktiskt ur skötselsynpunkt.

Användning av ackumulatortank ger följande fördelar

- Pannan kan eldas med full effekt. De flesta pannor är konstruerade för att ha bäst verkningsgrad kring maxeffekten.
- Eldningen blir bekvämare. Mellan eldnings-tillfällena tas värmen från lagringstanken.
- Ackumulatortanken kan användas som en elpanna. De flesta tankar är förberedda för elpatroner som kan användas, t ex när man reser bort eller inte har tid att elda.
- Tanken kan användas oavsett om uppvärmning sker med olja, el, sol, värmepump m m, t ex nattackumulering av elvärme.

Nackdelar med ackumulatortank är följande:

- Högre investeringskostnad
- Ger vissa värmeförluster
- Kräver extra utrymme
- Kräver större expansionskärl

Två typer av ackumulatortankar används, trycktankar och "trycklösa" (övertrycksfria) tankar.

3.2 Trycktankar

Eftersom radiatorvattnet normalt står under övertryck från expansionskärlet måste ackumulatortanken vara provtryckt och godkänt för 1.5 bar. I konventionella ackumulatorsystem har man därför oftast använt cirkulära tryckbehållare. Att tillverka en trycktank fyrkantig istället för rund är mer än dubbelt så dyrt som motsvarande trycktank i runt utförande. Av detta skäl är man vid val av trycktank som ackumulator i praktiken alltid hänvisad till det runda cisternutförandet av ackumulatortank. Detta innebär ofta svåra installations/utrymmesproblem - standarddörrmått ofta 700 mm - och man blir ofta tvungen att koppla ihop flera mindre tankar med varandra för att få en tillräcklig ackumulatortankvolym. Till ackumulatortanken ansluts ett öppet expansionskärl.

3.3 Övertrycksfria system

I system med "trycklösa" (övertrycksfria) tankar ansluts radiator och pannvattenkretstillopp och returledningarna med ändarna helt öppet mynnande under vattenytan i en öppen ackumulatorbehållare som kan vara placerad på lägre nivå än radiatorerna. Radiatorvattnet kommer ej i detta fall utöva något tryck på ackumulatorvattnet. Vattnet i radiatorerna kvarhålls genom vakuumverkan (figur 14).

Alternativt kan värmeväxling i tanken ske indirekt via värmeväxlare enligt figurbilaga 5. Ombyggnadssatser för konvertering av oljetankar till ackumulatorer finns också på marknaden. Genom att ackumulatorertanken ej blir utsatt för något stort tryck kan tanken utföras i valfritt "lådformat" och material t ex plast, och tillverkas till en lägre kostnad än en trycktank. Genom att välja ett trycklöst ackumulatorsystem kan inplaceringen i huset underlättas väsentligt. Behovet av expansionskärl vid användning av trycklösa system med indirekt värmeväxling bortfaller också. Huruvida expansionskärl kan elimineras i det trycklösa ackumulatorsystemet diskuteras i avsnitt 8.

Om expansionskärl används i ett trycklöst system för att minska syretillförseln kan detta anslutas med en hävert bredvid tanken. Eventuell frysrisk för expansionskärl på vinden elimineras därigenom.

3.4 Kopplingsalternativ ackumulator-panna

Exempel på olika kopplingsalternativ visas i figur 6 - 8.

För att minska stilleståndsförlusterna bör pannan ha en så liten vattenvolym/massa som möjligt. Värmeväxlare för tappvarmvatten och eventuella elpatroner installeras i ackumulatorertankens topp. Därigenom säkerställs en hög tappvarmvattentemperatur under hela urladdningstiden (varmt vatten har lägre densitet än kallt vatten). Skall tanken även användas som eltank för t ex nattackumulering kan elpatronerna placeras dels i botten av tanken - för att få en bra självcirkulation när hela tanken skall laddas - dels i toppen av tanken precis under tappvarmvattenberedaren - för att t ex sommartid endast hålla tankens topp varm (minskar isolationsförlusterna) och för att kunna få varmvatten på kort tid.

Beträffande själva kopplingen panna-ackumulator finns flera principer och reglersystem föreslagna. Olika förslag på system visas i figur 6 - 8. De krav som man ställer på systemet är bl a

- returledningstemperaturen till pannan bör ej vara så låg att kondensation av rökgasens vattenånga kan ske i pannan. En temperatur på ca 60 °C eller högre torde vara tillräckligt (pannan shuntas).

- framledningstemperaturen bör vara så hög och jämn som möjligt (medger stor energiackumulering).
- stilleståndsförlusterna skall vara låga, t ex ingen luftgenomströmning i pannan vid stillestånd.

Eftersom eldningsen sker intermittent är det av stor vikt att stilleståndsförlusterna kan minimeras. För att minimera stilleståndsförlusterna finns olika systemlösningar föreslagna med t ex differensstemperaturtermostat (13) och olika spjällstängare. Beroende på pannans installationsplats kommer en del av stilleståndsförlusterna, omgivningsförlusterna, att tillgodogöras under uppvärmningssäsongen. Detta gäller självfallet också för ackumulatoren.

3.5 Val av tankstorlek

Vid val av ackumulatortankstorlek bör man komma ihåg att den extra kostnaden för tankvolym oftast är marginell. En tank på 2 m^3 volym är endast ca 30 % dyrare än en tank på 1 m^3 . Som en utgångspunkt för dimensioneringen av ackumulatorns storlek/lagringskapacitet kan man utgå från ett varaktighetsdiagram för effektbehovet enligt figur 2. Om vi t ex vill elda/ladda ackumulatoren högst 1 gång per dygn utom under årets kallaste 12 dagar ser man i figurbilaga 2 att effektbehovet är under 95 % av drifttiden ≤ 50 % av det dimensionerande maxeffektbehovet.

Det dimensionerande maxeffektbehovet är vid t ex en oljeförbrukning på 3.5 m^3 eller 25 000 kWh per år ca 10 kW. Under 95 % (365 - 12 dagar) av tiden blir effektbehovet 6 kW eller lägre, dvs en energimängd på 144 kWh eller lägre per dygn erfordras. Under förutsättningen att pannan skall eldas max 1 gång per dygn, utom de 12 kallaste dyggen, bör ackumulatoren i detta fall ha en lagringskapacitet på

$$\text{Lagringskapacitet Ackumulator, kWh} = 144 - \frac{144}{\text{panneffekt}} \cdot 6$$

Vid en panneffekt på 20 kW innebär detta att ackumulatoren bör ha en lagringskapacitet på 100 kWh. Detta ger enligt figurbilaga 9 en erforderlig ackumulatorvolym på $1.5 - 2 \text{ m}^3$.

För att minimera erforderlig arbetsinsats bör också vedmagasinets volym vara rätt dimensionerat till energibehovet. Om pannan har en verkningsgrad på 70 % fordras en vedmängd på ca 50 kg för att producera 144 kWh. 50 kg bränsle erfordrar en volym på ca 150 l.

Skall pannan alternativt kunna användas som en "el-ackumulator" och nattaxa utnyttjas beräknas den erforderliga ackumulatorvolymen på samma sätt. Om dimensioneringen görs på samma sätt som ovan, dvs att

energibehovet skall kunna täckas med nattel under 95 % av driftstiden, måste en energimängd på 86 kWh per dygn lagras i ackumulatorn. Detta motsvarar en volym på ca 1.5 m³. I detta fall krävs en installerad effekt på 15 kW i ackumulatorn. Det bör observeras att elpannans inkopplingstid får vid natteltaxa oftast ej överskrida 10 h.

4 VERKNINGSGRAD - DEFINITION AV OLIKA BEGREPP - METODER

4.1 Olika verkningsgradbegrepp

Den kanske mest betydelsefulla och viktigaste frågan i samband med alla värmeanläggningar är systemets verkningsgrad. Dvs hur stor del av det tillförda bränslets energiinnehåll kan nyttiggöras. Tyvärr redovisas verkningsgraden många gånger på olika sätt vilket gör jämförelser svåra. En redovisning av olika begrepp använda vid verkningsgradbestämning har därför medtagits. För en närmare diskussion av olika verkningsgraddefinitioner hänvisas till referens (4,5).

I samband med förbränningsanläggningars verkningsgrad används oftast fyra nedanstående verkningsgradsbegrepp:

- pannverkningsgrad
- anläggningsverkningsgrad/totalverkningsgrad
- årsverkningsgrad
- förbränningsverkningsgrad

4.1.1 Pannverkningsgrad

Hela bränslets energiinnehåll kan oftast ej tillgodos göras i pannan. Detta beror dels på förbränningsförluster, dvs att bränslet förbränns ej fullständigt, dels på att en del av bränslets avgivna värmeenergi förloras i form av olika värmeförluster, t ex rökgaser- nas värmeinnehåll sedan dessa lämnat pannan samt omgivningsförluster till pannrummet.

Tas hänsyn till dessa förluster erhåller man pannverkningsgraden. Härmed menas således den procent av bränslets energiinnehåll som överförs till det vatten som cirkuleras genom pannan och kan nyttiggöras för t ex uppvärmningsändamål.

$$\text{- pannverkningsgrad} = \frac{\text{nyttiggjord energi}}{\text{tillförd energi}}$$

4.1.2 Anläggningsverkningsgrad, totalverkningsgrad

För att kunna lagerhålla/nyttiggöra den i pannan utvunna energin används olika distributionssystem, t ex cirkulationspumpar och ackumulatorsystem. Om en värmeanläggnings totala verkningsgrad skall beräknas måste energiförbrukningen/värmeförlusterna i de olika distributionssystemen inkluderas. Normalt är energiförlusterna i mindre anläggningars distributionssystem relativt låga i relation till den från pannan nyttig-

gjorda energin. Skillnaden mellan anläggnings verkningsgrad/totalverkningsgrad och pannverkningsgrad är därför i de flesta fall relativt liten. Används ackumulatorsystem för energilagring kan skillnaden mellan pannverkningsgrad och total verkningsgrad vara något större.

Det som avgör uppvärmningskostnaden är således anläggningsverkningsgraden och det är denna uppgift som kanske är den intressantaste för konsumenten. Pannverkningsgrad och totalverkningsgrad är i de flesta fall ungefär densamma, som regel ej större skillnad än 3 - 6 %.

4.1.3 Årsverkningsgrad

Med årsverkningsgrad avses anläggnings - verkningsgraden under ett år, dvs hänsyn tas till hur verkningsgraden varierar med hänsyn till effektuttag och intermittensgrad hos pannan under olika årstider. Årsverkningsgrad är ett begrepp som man bör se upp med hur det definierats. I t ex bivalenta värmeanläggningar t ex ved/el bör man vid jämförelser av årsverkningsgrader för olika pannor kontrollera att förutsättningarna är desamma.

4.1.4 Förbränningsverkningsgrad

Vid förbränningen av bränslet överförs den i bränslet kemiskt bundna energin till värme. Beroende på ofullständig förbränning av bränslet kan som regel ej hela bränslets värmevärde utnyttjas. Förluster i form av oförbränt erhålls, t ex kolmonoxid, sot och tjära i rökgasen, samt oförbränt kol i askan.

Med förbränningsverkningsgrad avses den procent av bränslets värmevärde som överförs till värmeenergi, dvs förbränningsverkningsgraden är ett mått på hur fullständig förbränningen är. Förbränningsverkningsgraden säger således ingenting om hur stor del av bränslets avgivna värme som kan tillgodogöras i t ex en panna eller en braskamin. Anges endast verkningsgrad utan prefix bör man noggrant kontrollera om förbrännings- eller pannverkningsgrad avses.

4.2 Bestämning av pannverkningsgrad

Vid bestämning av pannverkningsgraden på större pannor - som ofta har en hög förbränningsverkningsgrad - används normalt den indirekta metoden för bestämning av pannverkningsgrad

$$\text{pannverkningsgrad} = \frac{\text{nyttiggjord energi}}{\text{nyttiggjord energi} + \text{rökgasförluster} + \text{förbränningsförluster} + \text{omgivningsförluster}} \quad (\text{indirekta metoden})$$

eftersom det oftast vid stora pannor är svårt att

uppmäta den tillförda bränsleenergin exakt.

Vid små pannor, som ofta har en låg förbränningsverkningsgrad, är det¹⁾ svårt att bestämma de totala förlusterna exakt, medan däremot bränsletillförseln kan bestämmas exakt. Den direkta metoden används därför vanligen i dessa fall.

$$\text{pannverkningsgrad} = \frac{\text{nyttiggjord energi}}{\text{tillförd energi}} \quad (\text{direkta metoden})$$

De olika förlusterna från en panna kan indelas i

- Rökgasförluster i fritt värme (beror på rökgasmängd och rök Gastemp)
- Förbränningsförluster (ofullständig förbränning av bränslet)
- Omgivningsförluster (strålnings-, konvektionsförluster från pannan), ibland benämnt isolationsförluster
- Genomströmningsförluster (självdrag genom pannan under stilleståndsperioder vid intermittent eldning)

Förbränningsförlusterna kan uppdelas i

- förluster i oförbrända gaser (bundet värme) t ex kolmonoxid, vätegas och kolväten i rök gasen
- förluster av oförbränt i rök gasstoft t ex sot
- förluster av oförbränt i aska, slagg och i stoft/tjäravsättningar i pannan.

Utförs en energibalans för en panna skall summa uppmätta energiförluster vara lika med uppmätta totalförluster, skillnaden i tillfört värme och nyttiggjort värme. Ofta stämmer ej summa uppmätta förluster med den totala förlusten som uppmätts genom bestämning av tillfört värme - nyttiggjort värme. En s k restförlust erhålls. Restförlusten som kan vara i storleksordningen 10 - 20 % sammanhänger oftast med svårigheten att mäta de olika förbränningsförlusterna.

Beroende på hur pannan är installerad och vilken årstid som råder kan omgivningsförlusterna tillgodogöras i varierande omfattning. Omgivningsförlusterna behöver alltså inte alltid betraktas som en förlust, vilket är praxis vid verkningsgradbestämning. Av detta skäl är det önskvärt att kunna särskilja olika typer av förlustposter.

För att få ett måttetal som är mer relaterat till den verkliga energimängd som kan tillgodogöras från pannan har i denna undersökning använts begreppet värmeverkningsgrad.

1) Omfattande analyser krävs.

$\text{värmeverkningsgrad} = \text{pannverkningsgrad} + \text{omgivningsförluster}$

Förluster som erhålls speciellt vid intermittert eldning brukar ibland benämnas stilleståndsförluster. Stilleståndsförlusterna utgörs av genomströmningsförluster och omgivningsförluster.

Genom att analysera rökgasens temperatur, koldioxid- och kolmonoxidhalt kan rökgasförlusterna i fritt värme och bundet värme uppskattas enligt figurbilaga 1.

Vid låga halter av oförbrända gaser i rökgasen $< 2\ 000$ ppm CO utgör oftast kolmonoxid den dominerande - oförbränt - komponenten, varför i detta fall en bestämning av kolmonoxidhalten ger en ganska god uppfattning om halten oförbrända gaser i rökgasen. Vid högre halter av oförbrända gaser i rökgasen kan förutom kolmonoxid även vätegas och kolväten förekomma i höga koncentrationer (2,3).

Det bör poängteras att vid beräkning av verkningsgrader används i Europa av tradition bränslets undre värmevärde (effektiva värmevärdet). I det undre värmevärdet ingår ej kondensationsvärmets hos vattenången i rökgasen. Detta innebär att om vattenångans kondensationsvärme utnyttjas i pannan kan verkningsgraden bli högre än 100 %. Det övre värmevärdet (kalorimetriska värmevärdet) anger däremot bränslets totala energiinnehåll.

5 FÖRSÖKSUTFÖRANDE

5.1 Undersökta system, provuppställning

Försöken har utförts med två olika pann typer. Den ena pannan var en konventionell vedpanna av överförbränningstyp med vattenkyld eldstad (DIOM/UB-20), figur 10, som torde representera en mycket vanlig pann typ i Sverige. Den andra pannan som undersöktes var en magasinspanna, Torsby keramik 15/25, med omvänd förbränning, som hade ett kylt vedmagasin, en keramikisolerad härd och sekundärbrännkammare enligt figur 11. Båda pannorna var avsedda för eldning med styckeved. Ingen av pannorna var försedd med varmvattenberedare.

Pannan med överförbränning undersöktes också i kombination med en förugn för styckeved enligt figur 12. Den använda förugnen kan sägas vara en kombination av under och omvänd förbränning. Förugns nedre halva del var keramikisolerad.

Förugnen uppställdes så att gashalsen kunde stickas in i pannans askugn. Askugns golv och väggar isolerades med isolersten för att ej kyla flammen.

Pannorna installerades i ett 1-plans småhus (oljaförbrukning ca 3.5 m³/år). Pannrummet låg i ett av husets hörn. Ackumulatorsystemen var installerade i pannrummet.

Respektive panna ihopkopplades med ett ackumulatorsystem som bestod av dels ett traditionellt övertryckssystem, fabrikat Göthlind, med expansionskärl dels ett s k trycklöst (övertrycksfritt system), fabrikat Skåneverken, utan expansionskärl enligt figurbilaga 10 och 11. Vardera ackumulatorsystem hade en volym på 2 m³ som hade isolerats med 15 - 20 cm mineralull. Respektive panna anslöts till en skorsten med rökgasfläkt. Skorstenen hade en längd på ca 3.5 m.

Det bör poängteras att målsättningen med föreliggande undersökning har ej varit att jämföra olika fabrikat med varandra, utan mer att jämföra olika generella principiella utformningar av olika eldnings/driftsmetoder.

5.2 Undersökningsmetodik

Projektets huvudmålsättning var att bestämma verkningssgraden vid två olika driftsförfarande.

- direkteldning, kontinuerlig eldning varvid effekten styrs av värmebehovet.
- ackumulatoreldning, intermitterande eldning och laddning av en ackumulator.

5.2.1 Ackumulatoreldning

Pannan eldades 1 gång per dygn mot en ackumulator med volymen 2 m³. Pannan eldades vid varje tillfälle under en tid av 4 - 6 timmar ca 30 - 60 kg ved per gång eldades upp. Bränsleeffekten var ca 8 - 12 kg/h. Ackumulatoren laddades ur kontinuerligt genom radiator-system och tappvarmvattenuttag. En konstant spjällinställning för primär- och sekundärluft användes vid ackumulatorförsöken.

I försöken med den keramiskt isolerade magasinspannan reglerades pannvattencirkulationen med en termostad som in/urkopplade cirkulationspumpen. (Tillslagstemperatur för termostaten var 80°C.) En viss själv-cirkulation kunde också ske i 1" rör, figur 11. Cirkulationspumpen hade ett inställt flöde på ca 600 l/h.

Vid försöken med den kyllda överförbränningspannan reglerades pannans returtemperatur genom en pannshuntventil, Markaryds metallarmatur respektive BT-Ventiler AB, enligt figur 7 och 8. Med denna shuntventil kan returledningstemperaturen till pannan ställas in mellan 70 - 80°C. En returledningstemp på 70°C ställdes in. Cirkulationspumpen för pannvattenkretsen var i detta fall monterad i shuntledningen enligt figur 11. In/urkoppling av pumpen skedde med pannvattentermostaten 60 - 70°C. Primärluftspjället var också försedd med en anordning för spjällstängning då fyren brunnit ut (ESBE, dragluckstängare).

Vid försöken med keramikpannan och förugnen i vilka en betydande energimängd kan ackumuleras i keramiken avbröts mätningen ej då fyren brunnit ut även om framledningstemperaturen momentant gått ner till <70°C. Försöket avbröts först då framledningstemperaturen var mindre än 70°C under minst en timmes tid.

För att få drag i pannorna används en varvtalsreglerad rökgasfläkt som regleras in så att ett undertryck på 30 - 40 Pa erhålls efter pannan.

Sotning och uraskning av pannorna utfördes var 14:e dag.

5.2.2 Direkteldning

En förutsättning för att direkteldning skall kunna tillämpas är att pannan kan nedregleras till en effekt som motsvarar husets värmebehov. I detta fall en effekt på 5 - 6 kW enligt figurbilaga 2 (dimensionerande maxeffektbehov ca 10 kW). Försök att nedreglera den keramikisolerade magasinspannans effekt till 5 - 6 kW kontinuerlig effekt misslyckades. Pannans effekt kunde ej minskas till en lägre effekt än ca 10 kW. Försöken med direkteldning av den magasinseldade keramikpannan fick därför utgå.

Vid försöken med den kyllda överförbränningspannan kunde effekten nedregleras till ca 5.5 kW som lägst.

Pannan fick gå med enbart självdrag (10 - 15 Pa) och primärluftspjället var hela tiden i "stängt" bottenläge. I stängt bottenläge hade primärluftspjället en öppning på cirka 1 mm nedtill. Sekundärluftventilen hade en öppning på 5 mm. Panna kördes vid mätningarna kontinuerligt under en tid av minst 12 timmar.

5.3 Eldningsförfarande

5.3.1 Bränsle

Som bränsle användes utomhustorkad/förvarad björkved med fukthalten 15 - 22 %. Veden hade en längd på 40 - 45 cm, 35 cm respektive 30 cm för keramikpannan, överförbränningspannan respektive förugnen. Veden hade en styckevikt på ca 1 - 2 kg.

5.3.2 Tändningsförfarande

Vid tändning av keramikpannan och förugnen lades ca 4 kg klen björkved (styckevikt 0.1 - 0.2 kg) ovanpå rosten. Fläkten startades varefter bränslet tändes ovanifrån med tidningspapper (en tidning). Vid tändning av överförbränningspannan förfars på samma sätt, dock att bränslet tändes med tidning underifrån (i askugnen). Efter ca 15 - 20 minuter fylldes bränslemagasinet helt med ved 20 - 40 kg. Vid försöken med överförbränningspannan reducerades den påfyllda bränslemängden till ca 5 - 8 kg, dels beroende på magasinets storlek dels på att en mycket besvärande sot/tjärbildning erhöles om bränslemagasinet fylldes helt med ved.

5.3.3 Förbränningsluftreglering

Vid "ackumulatoreldning" användes en fast spjällinställning enligt nedan

	Primärspjäll mm	Sekundärspjäll mm
Keramikisolerad magasinspanna	10	φ 40
Överförbrännings- panna	10	10
Förugn	10	1/2 öppet

Ett skorstensdrag på 30 - 40 Pa, i pannans rökgasstos, ställdes in med en varvtalsreglerad rökgasfläkt. Vid dessa spjällinställningar erhöles en koldioxidhalt som under huvuddelen av tiden varierade mellan 10 - 15 % koldioxid. Några momentana luftunderskott vid t ex vedinlägg erhöles ej.

Med angivna spjällinställningar hade pannorna en effekt på 15 - 20 kW och en rökgastemperatur som var lägre än 350°C.

Efter det att fyren brunnit ut stängdes normalt primärluftspjällen för att minska genomströmningsförlusterna. Vid försöken med överförbränningspannan används en dragluckstängare. Sekundärluftspjällen stängdes däremot inte.

Vid direkteldning eldades pannan enbart med självdrag, 10 - 15 Pa. Primärluftspjällets öppning var ca 1 - 2 mm och sekundärluftspjällets öppning var 5 mm.

5.4 Mätmetoder

5.4.1 Verkningsgradbestämning

Vid bestämning av verkningsgraden används den direkta metoden. Respektive pannas reglersystem ställdes in så att framledningstemperaturen var $>70 - 80^{\circ}\text{C}$. Pannan eldades vid ackumulatoreldning kontinuerligt 1 gång per dygn (normalt 30 - 60 kg per eldningstillfälle).

Vid ackumulatoreldning bestämdes den från pannan avgivna energin med en framledningstemperatur $>70^{\circ}\text{C}$, från det att fyren tänts¹⁾ tills dess att framledningstemperaturen var $<70^{\circ}\text{C}$.

Pannans avgivna energi uppmättes genom bestämning av flödet till pannan med en kontrollerad vattenmätare, som gav en puls ut var 2.5 liter, (hydrometer) och temperaturdifferensen över pannan. Samtliga vattentemperaturer bestämdes med Pt-100 givare. Flöde och vattentemperaturer loggades kontinuerligt 2 gånger per minut med en datalogger (Databoard-kortsystem).

Tillförd bränsleenergi bestämdes enligt 5.4.2.

I försöken med keramikpannan och förugnen inkluderades även den energimängd, med en framledningstemperatur $>70^{\circ}\text{C}$, som avges från pannan efter det att fyren slocknat. Detta tillskott som beror på keramikens "eftervärme", kan avge energi ca 1 - 8 timmar efter det att fyren slocknat.

5.4.2 Bränslemängd, fukthalt och värmevärde

Hela bränslesatsen för varje försök, normalt 30 - 60 kg, invägdes på en våg med noggrannheten ± 0.1 kg. Prov för bestämning av fukthalt uttogs genom gömsågning med motorsåg av slumpvist valda vedträn från varje bränsleparti. Fukthalten i sågspånssamlingsprovet (ca 1 kg prov) bestämdes genom torkning av utbrett prov, 200 gram, på plåt i ugn vid 105°C till konstant vikt (ca 2 h).

¹⁾ Vid direkteldning påbörjades mätningen först då pannans drifttemperatur uppnått (70°C) .

På ett generalprov från de olika torkade fuktproven bestämdes värmeverdets, som uppmättes till 18.6 MJ/kg torr substans (effektivt värmeverde). Bränslets effektiva värmeverde H_{eff} vid varje körning beräknades enligt $H_{eff} = 18.6 - F \cdot 0.213$ där F är lika med fukthalten i procent. Protokoll för bestämning av bränslets värmeverde redovisas i bilaga 2.

5.4.3 Rökgasanalyser

Rökgastemperatur bestämdes kontinuerligt med chromel-termoelement. Koldioxid och kolmonoxid bestämdes med IR-metodik (Binos) på filtrerade och kylda rökgasprov. Tjärhalt och stofthalt bestämdes enligt referens (22). Rökgasflödet bestämdes med Prandtlrör och elektronisk mikromanometer. Rökgasförluster i fritt och bundet värme (CO) bestämdes med hjälp av figur-bilaga 1.

5.4.4 Förbränningsverkningsgrad

För att kunna bestämma förbränningsverkningsgraden måste förutom den tillförda bränslemängden, förbränningsförlusterna uppmätas. Förbränningsförlusterna består av oförbränt i rökgasen som sot, kolmonoxid, vätegas och kolväten samt oförbränt i aska och stoft/tjäravsättningar i pannan. Under förutsättning att pannan har en relativt god förbränning, CO-halter < 1 000 - 2 000 ppm, utgörs förbränningsförlusterna huvudsakligen av oförbränt i kolmonoxid och aska. Vid sämre förbränningsförhållanden $CO > 1\ 000 - 2\ 000$ ppm, kan förutom kolmonoxid även vätegas och kolväten svara för en stor andel av förbränningsförlusterna (2).

I denna undersökning har endast förbränningsförlusterna i form av oförbränt i aska, rökgasstoff och kolmonoxid bestämts. Med dessa mätparametrar kan en relativt god skattning av förbränningsförlusterna göras vid pannor med en hög slutförbränningsgrad. I pannor med en dålig slutförbränningsverkningsgrad erhålls en för låg skattning av förbränningsförlusterna med ovanstående metod. Metoden ger dock värdefulla fingervisningar om förbränningsförlusternas storleksordning och den maximala förbränningsverkningsgraden.

5.4.5 Stoft/tjärpåslag i skorsten

För att få en grov uppfattning om stoft/tjärpåslagens omfattning vid olika eldningsmetoder upphängdes inuti skorstenen, ca 0.3 meter från skorstensmyningen, testplåtar i aluminium (tjocklek 1 mm) med måttet 200 x 60 mm. Respektive plåt, som upphängdes vertikalt, var installerad under så lång tid att ca 100 kg bränsle uppdats i pannan vid ackumulatoreldning respektive direkteldning. Stoftbeläggningen på en av ytorna skrapades av och vägdes.

5.4.6 Omgivningsförluster

Med utgångspunkt från uppmätta yttemperaturer bestäms strålnings/konvektionsförluster enligt referens 26.

6 RESULTAT

6.1 Verkningsgrad

6.1.1 Ackumulatoreldning

Resultaten vid de olika mätningarna redovisas i tabellbilaga 1 - 8 och i nedanstående sammanfattande tabell.

Tabell 1 Verkningsgrad vid olika driftsmetoder

Undersökt system	Drifts- förfarande	Pannverk- ningsgrad ¹⁾ %	Värmeverk- ningsgrad ²⁾ %	Förbrännings- verkningsgrad %
Magasinspanna med omvänd förbränning. Kylt vedmagasin och keramiskt isolerad hård och brännkammare	ackumulatoreldn	65	74	98
Överförbränningspanna med vattenkyld eldstad	ackumulatoreldn	60	63	94
"_	direkteldning	50	56	<91
Keramikisolerad förugn med underförbränning kopplad till överförbränningspanna med kyld eldstad (samma som ovan)	ackumulatoreldn	49	73	98

1) Medelvärde av samtliga försök.

2) Pannverkningsgrad + omgivningsförluster (isolationsförluster).

Försöken visar att vid ackumulatordrift, intermittent eldning/laddning 1 gång/dygn, var pannverkningsgraden i samma storlekordning, ca 60 %, både i den kylda överförbränningspannan och i den keramikisolerade magasinspannan. I systemet där förugnen var ansluten till överförbränningspannan erhöles en lägre verkningsgrad ca 50 %. Beträffande de olika värmeförlusternas fördelning kunde konstateras att i den kylda överförbränningspannan var omgivningsförlusterna (strålnings/-konvektionsförlusterna) lägre och oförbräntförlusterna högre i jämförelse med den keramikisolerade magasinspannan och förugnen. Om hänsyn tas till att pannan är installerad på ett sådant sätt att omgivningsförlusterna ej behöver betraktas som en förlust blir den verkliga verkningsgraden under uppvärmningssäsongen ca 63 % för den kylda överförbränningspannan och ca 73 - 74 % för den magasinseldade keramikpannan och kombinationen förugn - kyld panna.

En beräkning av standardavvikelsen för pannverkningsgraden vid försöken med ackumulatoreldning visas i

tabellbilaga 3 och 6. Den procentuella standardavvikelsen låg mellan 2 - 3 %.

Vid försöken med den kyllda överförbränningspannan, där en automatisk pannshuntventil för reglering av returvattentemperaturen till pannan används (se figur 8), erhöles en väsentligt bättre uppladdning av ackumulatören (ca 90°C) - hög och jämn framledningstemperatur -, än i den typ av uppkoppling som används för den keramikisolerade magasinspannan där en ackumulatortemperatur på ca 70 - 80°C erhöles. Framledningstemperaturtermostaten (80°C) reglerade cirkulationspumpens till/frånslag.

6.1.2 Direkteldning

Vid direkteldning (kontinuerlig eldning) nedreglerades pannan till en kontinuerlig effekt på ca 5 - 6 kW. Endast den kyllda överförbränningspannan gick att nedreglera till denna effekt. Det gick ej att nedreglera överförbränningspannans effekt lägre än 5 - 6 kW. Verkningsgraden vid direkteldning uppmättes till 50 %, tabellbilaga 4. Vid en effekt på 10 - 12 kW uppmättes en verkningsgrad på ca 60 %.

6.1.3 Kompletterande försök med förugnen

Försök med en annan typ av styckeveds eldad förugn utfördes också. Utformningen av denna förugn som är övertryckseldad - tillverkare Malmberg Mekaniska Verkstäder AB - framgår av figurbilaga 3. Denna förugn kopplades till en vattenkyld panna på samma sätt som beskrivits för den andra undersökta förugnen.

Vid försöken med förugnen undersöktes endast pannverkningsgrad vid olika driftsförhållanden. Rökgasemissioner från denna typ av förugn finns undersökt i referens 27.

Uppmätta pannverkningsgrader med den övertryckseldade förugnen redovisas i nedanstående tabell 1:2.

Tabell 1:2 Verkningsgrad vid eldning i förugn (övertryckseldad)

Förugnstyp	Driftsförfarande	Pannverkningsgrad %	Rökgas-temp °C
Keramikisolerad förugn med underförbränning kopplad till överförbränningspanna med kylld eldstad	direkteldning (effekt 8-10 kW)	63	200-250
	ackumulatoreldning (ca 120-140 kWh)	58-63	200-250

Resultaten visar att denna förugn gav en något bättre verkningsgrad än den andra undersökta typen av förugn (tabell 1). Den högre verkningsgraden i den övertryckseldade förugnen berodde på att denna förugn var bättre isolerad. Eftersom förbränningsgraden var mycket god (27) visar resultaten att omgivningsförlusterna fortfarande är betydande.

6.1.4 Sotning av panna

Vid eldning i den keramikisolerade magasinspannan respektive förugnen erhöles enbart avsättningar av utbränd aska i konvektionsdelen. Sotning/uraskning av pannan gav endast en liten förändring i verkningsgrad, maximalt 1 - 2 % förhöjning.

I försöken med den kyllda överförbränningspannan och ackumulatoreldning erhöles en kraftig sotbeläggning i pannan mycket snabbt. Vid direkteldning erhöles dessutom kraftiga tjäravsättningar i stora sjok på eldstadens väggar. Sotning vid ackumulatoreldning gav en förbättring på maximalt 1 - 2 %.

6.2 Rökgasemissioner

Emissionsdata redovisas i tabellbilaga 9.

6.2.1 Ackumulatordrift

Generellt kan konstateras att den keramiskt isolerade magasinspannan med omvänd förbränning gav en avsevärt bättre slutförbränningsgrad/förbränningsverkningsgrad än den kyllda överförbränningspannan.

Keramikpannan hade under huvuddelen av mätperioden en kolmonoxidhalt som låg mellan 100 - 1 000 ppm CO. Momentant under kortare perioder erhöles ibland CO-halter uppåt 5 000 - 8 000 ppm. Frekvensen av dessa halter var dock relativt låg. Inträffade ej under varje försök. I förbränningsens sista slutskede - endast glödförbränning - erhöles dock genomgående några kolmonoxidhalter ca 5 000 ppm CO. Stofthalten uppmättes till 33 mg/MJ och tjärhalten uppmättes till 6 mg/MJ. I den rena glödförbränningsfasen erhöles i praktiskt taget alla system med satsvis bränsletillförsel en hög CO-halt i glödförbränningsfasens slutskede. Under förutsättning att bränslet genomkolats fullständigt erhöles dock inga emissioner av tjära eller sot i glödförbränningsfasen (19).

Den kyllda överförbränningspannan gav genomsnittligt avsevärt högre kolmonoxidhalter än keramikpannan. Kolmonoxidhalten varierade mellan 2 000 - >10 000 ppm. Stoft och tjärhalten uppmättes till 110 mg/MJ respektive 220 mg/MJ. Speciellt i samband med vedinlägg kunde en kraftig sot/tjäremission iakttas.

Vid försöken med förugnen kunde konstateras att ugnens drift var instabil främst beroende på en dålig

flamhållning. Förbränningsverkningsgraden/slutförbränningsgraden var tidvis extremt god, <500 ppm CO vid en koldioxidhalt på 19 - 19.5 %, men var också momentant mycket låg >1 % CO vid 12 - 14 % koldioxidhalt.

Förugnen gav dock genomsnittligt en god slutförbränningsgrad, kolmonoxidhalter mellan <50 - 1 000 ppm CO. Momentant erhöles dock mycket höga CO-halter på grund av den instabila flamhållningen. Stofthalten respektive tjärhalten uppmättes till 66 mg/MJ respektive 55 mg/MJ.

Skillnader mellan de olika systemen visade sig framförallt vid bränslepåfyllning. Den kylde överförbränningspannan gav en mycket kraftig rökutveckling under 15 - 30 minuter av sot/tjära i samband med vedpåfyllning, speciellt om bränslemagasinet volym utnyttjas helt. Vid bränslepåfyllning av förugnen eller keramikpannan erhöles ej någon rökutveckling (sot/tjära) under förutsättning att det fanns en bra grundfyr (glödbädd) som täckte hela rosterytan.

Insatta testplåtar i skorstenen visade ett stoftpåslag enligt tabell 2 nedan. Stoftpåslaget från den kylde pannan bestod huvudsakligen av sot/tjära, medan stoftpåslaget från förugnen respektive den keramikisolerade magasinspannan främst bestod av grå aska.

6.2.2 Direkteldning

Vid direkteldning i den kylde överförbränningspannan (5 - 6 kW effekt) var slutförbränningsgraden genomgående mycket låg med kolmonoxidhalter på 5 000 - - >15 000. Stofthalten respektive tjärhalten uppmättes till 190 mg/MJ respektive 1 100 mg/MJ. Stoftpåslag på uppsatta testplåtar i skorsten uppmättes till 70 g/m². Påslagen bestod av tjära och sot. Rökgasfläkten blev obrukbar under försöken.

Tabell 2 Stoft/tjärpåslag på testplåt i skorsten

Undersökt system	gram/m ² vid en uppeldad bränslemängd på 100 kg i panna
Panna med omvänt förbränning och keramikisolerad brännkammare, ackumulatoreldning	<5 (löst sittande grå aska)
Keramikisolerad förugn kopplad till överförbränningspanna, ackumulatoreldning	<5 (löst sittande grå aska)
Överförbränningspanna med kyld eldstad, ackumulatoreldning	10 (löst sittande sot)
Överförbränningspanna med kyld eldstad, direkteldning	70 (inbränd tjära/sot)

6.3 Isolationsförluster från ackumulatorsystem

Uppmätning av till ackumulatorn tillförd energi respektive uttagen energi, samt temperaturmätningar i tanken utan energiuttag visade att värmeförlusten i själva ackumulatorsystemet låg på 5 - 7 % av den tillförda energin, vid en utomhustemperatur på 0 - (-5°C). Isolationsförluster hos en "vilande" ackumulator visas i tabellbilaga₃ 10. Om det antas att ca 100 - 105 kWh tillförs en 2 m³ tank per dygn kommer energiförlusten bli ca 6 % per dygn.

7.1 Verkningsgrad och rökgasemissioner

De genomförda försöken visar att om vedeldning utförs i t ex en magasinsseldad panna med omvänd förbränning och keramikisolerad hård och efterbrännkammare kan en väsentligt högre förbränningsverkningsgrad uppnås än i en traditionell kyld överförbränningspanna. En högre förbränningsverkningsgrad behöver dock inte alltid innebära att också pannverkningsgraden blir hög, vilket dessa försök visar.

I keramikpannan är värmeförlusterna i form av olika förbränningsförluster (oförbränt) låga, medan omgivningsförlusterna (isolations/konvektionsförlusterna) från pannan är mycket höga (trots att keramikens eftervärme delvis utnyttjas). För den kylda överförbränningspannan gäller det omvända förhållandet, relativt låga omgivningsförluster (strålnings/konvektionsförluster) men höga förbränningsförluster. Beroende på årstid samt hur pannan installeras - i fristående pannrum eller i källare - kan omgivningsförlusterna nyttiggöras i varierande grad.

Om omgivningsförlusterna, vilka vid bestämning av verkningsgrad av praxis betraktas som en förlust, istället betraktas som energi som kan nyttiggöras blir förhållandet mellan de olika pannornas verkningsgrad annorlunda. Keramikpannan och systemet förugn/överförbränningspanna ger en högre verkningsgrad ca 73 - 74 % i jämförelse med överförbränningspannan som ger ca 63 %.

Dessa resultat visar betydelsen av att, vid dokumentering av villapannors värmeförluster, kunna särskilja förbränningsförlusterna från omgivningsförlusterna.

Tillämpas direkteldning i en kyld panna istället för ackumulatoreldning sjunker verkningsgraden med ca 10 %. Vid direkteldning kunde kanske förväntas en större reduktion i verkningsgrad i jämförelse med ackumulatoreldning, än som var fallet. De större relativa omgivnings- respektive förbränningsförlusterna vid direkteldningen kompenseras delvis genom de väsentligt lägre rökgasförlusterna i fritt värme vid direkteldning. På grund av den mycket kraftiga sot/tjäraavsättningen i skorstenen, förefaller dock enbart av detta skäl direkteldning i den undersökta pannan som ett orealistiskt alternativ, vilket också framhålls av pannfabrikanten.

Resultaten visar också att ackumulatoreldning i en kyld panna förutom en bättre verkningsgrad också ger en lägre stoft/tjäremission än vid direkteldning. Stoft/tjäremissionens absoluta nivå är dock även vid ackumulatordrift avsevärt högre, ca 200 mg tjära/MJ, än SNVs förslag till tjäremissionsnorm på 10 mg/MJ.

Genom att ansluta en förugn till den kyllda överförbränningspannan kunde vid ackumulatoreldning den genomsnittliga förbränningsverkningsgraden förbättras och lägre sot/tjäremissioner erhållas i jämförelse med ackumulatoreldning i den kyllda överförbränningspannan. Däremot erhöles ej en bättre pannverkningsgrad vilket främst berodde på de stora omgivningsförlusterna från förugnen. Samma förhållande som kunde konstateras vid keramikpannan.

Rent allmänt kan konstateras att isolationen/materialproblemen är svåra att lösa i okyllda förugnar. Efter en tids eldning i ugnen "äter" sig fyren ofta uppåt i ugnen och en mycket stor glödbädd erhålls tidvis, vilket ställer stora krav på ugnens isolation. Förugnen måste dels isoleras med keramiskt material i själva härden, dels bör okyllda plåtytor i magasinet som utsätts för höga temperaturer utföras i värmebeständigt material. Användning av cortenplåt som sker i en del förugnar torde vara mindre lämpligt.

Beträffande den undersökta förugnen bör framhållas att den ingick i en mindre prototypserie. Det kunde konstateras att brännardysen, som var utförd i metall, var mindre lämpligt utformad, vilket medförde en instabil flamhållning - flammen tappades ibland. Med relativt enkla modifieringar av förugnen torde dessa nackdelar kunna elimineras. När ugnen/brännardysan fungerade optimalt erhöles extremt goda förbränningsbetingelser med ≤ 500 ppm CO vid 19 - 19.5 % koldioxidhalt, vilket måste betecknas som mycket exceptionellt.

En jämförelse med uppmätta verkningsgrader vid tidigare undersökningar av direkteldade kyllda överförbränningspannor av Rydberg 1942 (8), visar en relativt god överensstämmelse, figur 2. Nyligen genomförda undersökningar av Eko-Energi visade en verkningsgrad på 43 - 48 % vid direkteldning i en kylld överförbränningspanna (13).

Undersökningar utförda vid Statens Provningsanstalt visar på verkningsgrader mellan 55 - 65 % vid ackumulatoreldning i pannor med kyllda eldstäder (21).

Undersökningar i Finland (23) och vid Statens Provningsanstalt (21) av pannor vid dellast och fullast visar samma förhållande som i denna undersökning, nämligen att verkningsgraden vid 1/3 - 1/5 dellast är ca 10 % eller mer lägre vid dellast i jämförelse med fullast.

Undersökning vid Statens Provningsanstalt av samma keramikpanna som i denna undersökning med ett speciellt testförfarande för ackumulatorpannor gav en verkningsgrad på endast 49 %, vilket skall jämföras med en verkningsgrad på 64 % som erhöles i dessa försök. Skillnaden beror sannolikt på att i SPs

ackumulatortest har hänsyn ej tagits till den värme som keramiken avger, till pannvattnet, $>70^{\circ}\text{C}$, då fyren brunnit ut. Men även för andra pannor med en relativt liten värmeackumuleringsförmåga har man uppmätt anmärkningsvärda skillnader mellan verkningsgrad uppmätt vid fullastkörning respektive vid ackumulatordrift. Skillnader på upp till 20 % har redovisats (21).

7.2 Ackumulatorsystem

Vid försöken användes dels ett traditionellt ackumulatorsystem bestående av ett expansionskärl och en trycktank dels ett övertrycksfritt ackumulatorsystem utan expansionskärl. För en diskussion av syreinläckage problematiken hänvisas till avsnitt 8.

Vid användning av den automatiska pannshuntventilen för att reglera returtemperaturen uppstod problem då pannan används i kombination med det övertrycksfria ackumulatorsystemet. På grund av det lägre övertrycket i systemet erhöles vid en framledningstemperatur på ca 90°C ångblåsor i ledningen till cirkulationspumpen, vilket medförde att pannvattnencirkulationen upphörde och pannan kokade. Motsvarande problem erhöles ej i ackumulatorsystemet med övertryck.

För att utnyttja ackumulatortanken optimalt och förlänga eldningsintervallen är det väsentligt att framledningstemperaturen från pannan kan regleras och hållas hög. En automatisk pannshuntventil enligt figur 8 eller en regleranordning enligt figur 7 kan därvid användas. Fördelen med dessa system är att en relativt konstant och hög framledningstemperatur erhålls samtidigt som returtemperaturen till pannan också kan regleras för att undvika kondens/korrosion i pannan. Manuellt reglerade pannshuntventiler är ofta mindre lyckat eftersom pannans effekt vid vedeldning - till skillnad från oljeeldning ofta varierar kraftigt.

Ett annat problem vid intermittent ackumulatoreldning är stilleståndsförlusterna, dvs kylning av pannan genom luftgenomströmning samt genom omgivningsförluster (strålning/konvektion) efter det att fyren brunnit ut.

Traditionella spjällregleranordningar för reglering av primärluftspjället öppnar t ex primärluftspjället när panntemperaturen sjunkit och fyren brunnit ut, vilket ger stora genomströmningsförluster i t ex keramikpannor med ett stort värmeupptag. Genom att använda en automatisk luckstängare kunde pannverkningsgraden förbättras med ca 5 % vid ackumulatoreldning i keramikpannan (tabell 3).

Istället för att indikera utbrunnen fyr genom en sjunkande pannvattentemperatur kan rökgasttemperaturen användas som indikator istället. Denna princip används ibland vid styrning av rökgasflödet med en rökgasfläkt.

En annan faktor som är viktig för att minska stilleståndsförlusterna är värmeupptaget i pannans massa/vattenvolym. Har pannan en stor vattenvolym och innehåller dessutom en stor keramikmassa blir värmeupptaget i pannan avsevärt. För en panna med ca 300 kg keramik blir värmeupptaget vid en temperaturdifferens på 500°C ca 140 MJ.

Till skillnad från en kyld panna, vars effekt sjunker till nästan noll så fort fyren brunnit ut, gäller för en panna med keramik att när fyren brunnit ut i pannan reduceras pannans effekt till en låg nivå, men denna lägre effektnivå kan kvarstå under relativt lång tid. En keramikpanna kan sålunda ge en "eftervärme" på en hög temperaturnivå med en framledningstemperatur $>70^{\circ}\text{C}$ i flera timmars tid efter att fyren brunnit ut.

I den finska provningsmetoden som Statens Provningsanstalt också använt definieras provstoppet i ackumulatortestet, som den tidpunkt när fyren brunnit ut och pannan ej kan ge en högre framledningstemperatur än 70°C . Det definieras ej någon tidsperiod för detta villkor, vilket innebär att så fort framledningstemperaturen sjunkit till 70°C avbryts mätningen av den avgivna energin från pannan, trots att keramikens eftervärme efter kanske 10 - 20 minuter avgivit så mycket energi, att pannan åter kan leverera energi med en framledningstemperatur över 70°C .

En annan faktor som i hög grad påverkar verkningsgraden vid ackumulatoreldningsförfarandet är definition av lämplig starttemperatur vid påeldning av pannan, dvs hur skall hänsyn tas till pannans stilleståndsförluster. Upptagen energimängd i pannan vid eldning i pannan och avgiven energi vid stillestånd varierar beroende på eldningsfrekvens och panntyp. Kyllda pannor med en liten vattenvolym svalnar ganska snabbt ~20 timmar till en temperatur på ca 30°C . Pannor med en större vattenvolym och en stor keramikmassa kan efter en avsvälningstid på 20 timmar fortfarande ha en temperatur på 50 - 55°C .

Förslagsvis bör pannans starttillstånd vid ackumulatorprovningen definieras individuellt för varje panna utgående från en standardiserad eldningsfrekvens, t ex den temperatur som pannan har efter 20 timmars avsvälning efter eldning. Själva eldningsperiodens längd vid provning av pannan bör förslagsvis definieras till en specifierad energimängd som skall produceras, t ex 120 kWh.

För att få rättvisande och jämförbara verkningsgradprestanda är det ytterst väsentligt att speciellt

akkumulatortestningsförfarandet standardiseras på ett sätt som efterliknar verkligheten.

Vad gäller verkningsgradmätning vid direkteldning (kontinuerlig eldning) torde problemet att få jämförbara och representativa verkningsgraddata vara väsentligt mindre. Etablerade och standardiserade metoder finns. Vissa stötestenar finns dock även här. Eftersom summa värmeförluster är svårt att mäta vid eldning i mindre pannor, används vid bestämning av verkningsgraden i dessa den direkta metoden. Denna metod förutsätter att den tillförda och avbrända bränslemängden kan bestämmas noggrant.

Att bestämma den avbrända bränslemängden är svårt om inte pannan står på en våg. I annat fall måste mätningen ske under en lång provtid för att minska felet i uppskattad avbränd bränslemängd.

7.3 Förugnar

Ett alternativ till vedpanna som kommit i marknaden de senaste åren är förugnar för helved. Beroende på relativt stora omgivningsförluster från dessa erhålls en relativt låg pannverkningsgrad för kombinationen förugn-panna. Förhållandet torde med stor sannolikhet vara detsamma för flertalet förugnar på marknaden. Installation av en förugn till en befintlig panna torde därför i de flesta fall ej ge någon förbättring av pannverkningsgraden. Det förutsätts att ackumulatordeldning används, eftersom detta är det enda eldningsförfarande som kan tillämpas om miljöproblemen skall försöka undvikas. Om däremot omgivningsförlusterna från förugnen ej behöver betraktas som en förlust torde värmeverkningsgraden¹⁾ för kombinationen förugn/panna i många installationer bli högre i jämförelse med vedeldning i pannan utan förugn.

I de fall där man har en felfri panna, men som är mindre lämplig/arbetskrävande (litet bränslemagasin) att elda med ved t ex en kombipanna, är en förugn ett intressant alternativ. Genom att elda med ved i en förugn istället för i pannan erhålls också väsentligt bättre möjligheter att uppnå en fullständig förbränning. Användning av förugn bör därför ge små miljöproblem och ringa sot/tjäraavsättningar i skorstenen i jämförelse med vedeldning i en kyld panna. En annan fördel med förugnen är att även dåligt torkad ved med fukthalten 30 - 40 % kan eldas med en hög förbränningsverkningsgrad.

En viktig punkt beträffande förugnar för styckeved är att ugnen måste vara gjord i mycket värmebeständigt material eftersom ugnen utsätts för mycket höga temperaturbelastningar. Oftast kan inte fyren koncentreras till en hårdzon kring rosten utan tidvis erhålls övertändning och fyr i hela bränslemagasinet, speciellt om torr ved eldas.

1) $\text{Värmeverkningsgrad} = \text{pannverkningsgrad} + \text{omgivningsförluster}.$

Ett annat problem med förugnar är att på grund av den ackumulerade energin i förugnens keramik erhålls en mycket kraftig gasning av veden vid bränsleinlägg. Förutom att detta ger svårigheter med att kontrollera luftöverskottet kan övertryck erhållas i eldstaden om rökgasutsuget är otillfredsställande. Tillförsel av förbränningsluften med fläkttryck, genom en bränsle/-glödbädd med ett tryckfall, istället för sug med rökgasfläkt eller med hjälp av skorstensdraget, måste betecknas som en mycket stor potentiell hälsorisk. Genom att blåsa in förbränningsluften med en fläkt kan ett övertryck på 100 Pa eller mer erhållas i eldstaden. Om ugnen ej är helt tät, vilket den kanske inte är efter 10 års användning, kan i princip gengas läcka ut i pannrummet. Med tanke på de mycket allvarliga konsekvenser som kan uppstå i ett äldre bestånd av övertryckseldade otäta förugnar är det synnerligen angeläget att någon form av typgodkännande-regler etableras för förugnar. Det är också angeläget att en provningsmetodik för prestandadokumentation av förugnar kommer tillstånd.

7.4 Reproducerbarhet

Analys av spridningen vid verkningsgradförsöken visar att en relativt god precision erhålls. Den procentuella standardavvikelsen uppmättes till 3 %. Krävs en hög precision i verkningsgradangivelsen fordras dock flera mätningar under en längre tid. Eftersom även relativt små skillnaden i verkningsgrad innebär stora skillnader i bränslekostnader, är det ofta ett önskemål att kunna bestämma verkningsgraden med en hög precision, varför mätning av verkningsgraden bör utföras under en lång provperiod.

Beträffande noggrannheten - avvikelse från det sanna värdet - i redovisade verkningsgrader är det svårare att ge ett svar. Osäkerheten i detta fall är främst hur stora de systematiska felen är vid bestämning av tillförd energimängd (dvs eventuella systematiska fel vid bestämning av fukthalt, värmevärde och bränslemängd) samt uttagen energimängd (systematiska fel vid bestämning av flöde och temperatur). Beträffande mätparametrarna bränslemängd, vattenflöde och temperatur är onoggrannheten mindre än ± 1 %. Vid bestämning av bränslets energiinnehåll, dvs provtagning, fukthaltbestämning och värmevärdebestämning är sannolikt onoggrannheten större än vid bestämning av bränslemängd, vattenflöde och temperatur.

7.5 Miljöproblem

Beträffande miljöproblemen kan konstateras att det finns idag ingen teknik för vedeldning enligt direkteldningsförfarandet som uppfyller SNVs förslag till emissionsnormer. Inte ens de sk keramikpannorna med intermittent primärluftreglering uppfyller SNVs krav. Detta innebär att för att uppfylla miljökraven måste

för det första i princip alltid ackumulatoreldning tillämpas. För det andra måste en panna eller förugn med en hög förbränningsverkningsgrad/slutförbränningsgrad användas.

Under förutsättning att ackumulatoreldning tillämpas och en lämplig panna/förugn användes ger vedeldning lika låga emissionsnivåer av stoft, sot och tjära som en oljeeldad villapanna.

Det bör kanske också betonas att vid en diskussion av emissionsnivåer hos olika system får man ej stirra sig blind på haltangivelser t ex mg tjära/MJ tillförd bränsleenergi. Ur omgivningshygienisk synvinkel är det kanske intressantare att jämföra emissionsnivåer i form av frekvens och varaktighet av olika emissionsnivåer. Detta mått torde vara mer relevant för de miljöstörningar som erhålls vid vedeldning t ex lukt och sotnedfall. Detta är ett förhållande som ytterligare talar för att ackumulatorsystem bör alltid användas vid fastbränsleeldning (styckevedseldning) i tätbebyggda villaområden.

7.6 Sammanfattande synpunkter

Denna undersökning och andra tidigare undersökningar visar att betydande skillnader i pannverkningsgrad mellan olika vedeldade villapannor föreligger. Beträffande energiförlusternas fördelning kan konstateras att relationen förbränningsförluster/omgivningsförluster varierar starkt mellan olika pannor. Eftersom omgivningsförlusterna - till skillnad från förbränningsförlusterna - kan nyttiggöras i många installerade värmeanläggningar, bör omgivningsförlusterna alltid uppmätas och redovisas tillsammans med pannverkningsgraden.

Försöken visar också att vid ackumulatoreldning i en kyld överförbränningspanna erhålls en pannverkningsgrad som är ca 10 % högre än pannverkningsgraden vid direkteldning i samma panna. Denna skillnad kan tyckas liten och ej motivera ackumulatorns investeringskostnad. Emellertid måste konstateras att direkteldning i den kylda pannan gav extremt höga sot och tjäremissioner. Med hänsyn till den stora risken för skorstensbrand vid direkteldningsförfarandet, måste detta förfarande därför betraktas som direkt olämpligt.

Vid en jämförelse av verkningsgrader mellan olika system bör man lägga märke till att en viss procentuell verkningsgradförbättring ger alltid en högre procentuell bränslebesparing. En jämförelse av verkningsgrader blir därför självfallet missvisande vad gäller skillnader i bränslekostnader mellan olika system. Skillnaden i pannverkningsgrad på ca 10 % mellan ackumulatoreldning och direkteldning kan t ex tyckas liten. Men om skillnaden i bränsleåtgång mellan de olika driftsförfarandena beräknas, erhålls

en bränslebesparing på ca 13 %¹⁾ vid ackumulatoreldning i jämförelse med direkteldning även om ackumulatorförlusterna borträknas.

Ovan gjorda jämförelse hänför sig till en relativt liten skillnad i verkningsgrad mellan direkteldning och ackumulatoreldning. Det finns idag dock ackumulatorpannor som ger en verkningsgrad på ca 70 %, varför bränslebesparingen vid ackumulatordrift i jämförelse med direkteldning kan bli högre.

Även om det är svårt att ansätta ett pris på veden torde dock även om endast ett bränslepris på 150:- m f (= massavedspriset) användes, en investering i ackumulatoren vara företagsekonomiskt motiverbar om dessutom hänsyn tas till den stora arbetsbesparing - mer tid för produktivt arbete - som användande av ackumulator innebär.

Den relativt stora bränsle/arbetsbesparing som kan göras även vid relativt små verkningsgradskillnader motiverar i hög grad att pannors prestanda dokumenteras och redovisas av pannfabrikanten. För andra energiprodukter t ex värmeåtervinningssaggregat för ventilationsluft och värmepumpar krävs dokumentation/-testning för uppfyllande av vissa minimikrav om lån skall erhållas. Ett annat exempel är redovisning av bilars bensinförbrukning som görs på ett standardiserat och jämförbart sätt.

Tyvärr redovisas pannprestanda - om de överhuvud redovisas - på ett sådant sätt att de ej är jämförbara med andra fabrikat, dvs man blir tvingad att jämföra äpplen med päron.

Prestanda för vedpannor bör förslagsvis redovisas vid både ackumulatoreldning och direkteldningsförfarande om dessa driftsförfaranden anses kunna tillämpas av fabrikanten. Vid bestämning av verkningsgraden vid direkteldning är det väsentligt att pannan undersöks vid den effektnivå som pannan går på under huvuddelen av eldningssäsongen. Vid val av lämpliga effektnivåer bör förslagsvis varaktighetsdiagram för effektbehovet under året tjäna som underlag.

Beträffande de uppmätta verkningsgradsnivåerna kan konstateras att pannverkningsgraden hos flertalet pannor är mycket låg. Endast ca hälften av bränslets tillgängliga energiinnehåll utnyttjas (baserat på bränslets kalorimetriska värmevärde).

Om rökgaskondensering tillämpas för att bättre utnyttja bränslets energiinnehåll kan verkningsgrader över 100 % erhållas (baserat på bränslets effektiva värmevärde). Av detta skäl kan det diskuteras om inte en övergång till beräkning av verkningsgrader baserat på bränslets kalorimetriska värmevärde vore möjligt, för att undvika sammanblandning.

1) Vid ackumulatoreldning har verkningsgraden reducerats med hänsyn till ackumulatorförlusterna.

8 KORROSIONSPROBLEM I ACKUMULATORSYSTEM

8.1 Allmän bakgrund

För att få ett mer flexibelt värmesystem som kan använda olika energiformer t ex fasta bränslen, elkraft, natteltaxa, lågtemperaturrenergisystem, frånluftvärmepumpar m m har användningen av olika vattenburna ackumulatorsystem för energilagring ökat i omfattning på senare år. Som ackumulator i värmesystem används främst vattenbehållare utförda i järn. För att kunna ansluta/fylla upp radiatorsystemet ansluts ackumulatortill ett expansionskärl, vilket innebär att ackumulatortill utsätts för tryck, varför den måste utföras som ett tryckkärl. På senare år har också övertrycksfria (trycklösa) ackumulatorsystem kommit till användning. Energiladdning/uttag i dessa system sker antingen direkt genom vattencirkulation eller indirekt via värmeväxlare. Ackumulatorsystem med indirekt värmeväxling i tanken finns nu också utförda i plastmaterial. Även konverteringssatser för oljetankar finns på marknaden.

För att förhindra korrosion i värmesystemet till följd av inläckage av syre utgör ofta expansionskärl en spärr i konventionella värmesystem. I de övertrycksfria systemen används i en del utföranden inget expansionskärl utan istället används en paraffin-film på vattenytan som skydd.

Ett värmesystem med ackumulator - inklusive installation - representerar en ganska stor investering. Därför ställs stora krav på värmesystemets bestående och funktionsduglighet under mycket lång tid. Skador till följd av t ex vattenläckage är också ofta mycket kostsamma. Av dessa skäl är kraven på korrosionsfrihet på olika komponenter i ett vattenburet värmesystem extra höga. Speciellt som de effekter som kan uppstå till följd av en eventuell korrosion i ett värmesystem ofta har en mycket lång tidsfördröjning är det väsentligt vid en introduktion av nya tekniska system, att de långsiktiga funktions/korrosionsproblemen beaktas.

Introduktionen av polymerrör (PEX-rör) i stället för metallrör i ledningar i radiatorsystem är exempel på introduktion av nya tekniska system utan att de långsiktiga effekterna beaktats. Till följd av syre-diffusion genom polymerrören erhöles korrosionsgenomfrätningar i radiatorsystemen (15).

Ett gammalt välkänt korrosionsproblem i värmesystem är själva expansionskärl. Tidigare då expansionskärlen tillverkades i järn erhöles genomfrätningar i expansionskärl. Av detta skäl övergick man till expansionskärl i rostfritt material. Detta medförde att man fick genomfrätningar i förbindelseledningen expansionskärl-panna, som ofta utförs i kolstål, istället. Detta visar att man ofta inte eliminerar

själva grundorsaken till korrosionsangreppen, utan endast flyttar på problemen.

Som ett alternativ till de traditionella ackumulatorsystemen - trycktankar i kolstål - som står under övertryck genom förbindning med ett expansionskärl, har på senare år övertrycksfria ackumulatorsystem börjat användas. I de övertrycksfria systemen kan radiatorsystemets öppna ändar anslutas till en helt öppen vattentank. Radiatorerna ansluts under vakuum. Detta innebär att något expansionskärl behövs i princip ej av detta skäl.

För att undersöka eventuella risker för korrosionsproblem till följd av syreinläckning i ackumulatorsystem utförda i kolstål har syreintransporten uppmätts i två olika ackumulatorsystem. Dels ett övertrycksfritt (trycklöst) dels ett trycksatt ackumulatorsystem med öppet expansionskärl har undersökts.

8.2 Experimentella försök

8.2.1 Undersökta system

Ett övertrycksfritt respektive ett trycksatt ackumulatorsystem undersöktes enligt figur 15 respektive figur 14. Konstruktionsmaterial var i båda fallen kolstål.

Det övertrycksfria systemet hade en vattenvolym på 1.9 m³. Systemet var ej försett med något expansionskärl utan hade istället en paraffinfilm, ca 1.5 l, på vattenytan som enligt tillverkaren dels förhindrar korrosion ovanför vattenytan i tanken dels skall reducera syrediffusionen till vattenmassan. Ackumulatortorn hade en varmvattenberedare med en volym på 150 l. Ackumulatortornet var också försedd med ett vattenlås.

Akkumulatorsystemet med trycktank i kolstål hade en volym på 1.9 m³ och var anslutet med ett ca 0.4 m långt 1" tums järnrör till ett rostfritt expansionskärl med en volym på 100 l. För varmvattenberedning fanns kopparslingor i tanken.

8.2.2 Försöksmetodik

För att kunna studera syreinläckningen i ackumulatorsystemet användes hydrazinmetoden. Hydrazin används normalt för att erhålla syrefritt matarvatten i ångpannor. Hydrazin reagerar praktiskt taget momentant med fritt syre enligt nedan.



Genom att dosera ett överskott - i förhållande till syre - av hydrazin till respektive system, och därefter efter olika tidpunkter analysera hydrazin-

koncentrationen, kan syrekonsumtionen (syretillförseln följas).

Försöken gick till på följande sätt. En känd mängd hydrazin, 1 - 2 g/m³ vattenvolym i värmesystemet, upplöstes i ca 2 liter vatten. Denna lösning injicerades till ackumulatortanken med en doseringspump på en gång. Vid försöken med systemet med expansionskärl doserades hydrazinet efter uppladdning. Cirkulationspumpen för radiatorsystemet påsattes varefter vattenprov uttogs på 2 olika nivåer i ackumulatortanken, för kontroll av omblandningen, efter olika tidpunkter. Vattenprovens hydrazinkoncentration undersöktes enligt Bilaga 1. Då båda nivåerna i tanken uppnått samma hydrazinkoncentration antogs en homogen inblandning av hydrazin i värmesystemet ha skett. Under fortsatt cirkulation med pumpen uttogs vattenprov för hydrazinanalys med olika tidsintervall.

8.3 Resultat

Resultaten redovisas i tabell 11.

8.3.1 Trycktanksystem med expansionskärl

Urladdningsfasen undersöktes i detta fall eftersom det är i denna fas syretillförsel till värmesystemet rimligtvis sker. Hydrazinet doserades till en varm tank som därefter successivt urladdades (55°C till 25°C). Under 1:a dygnet sjönk hydrazinhalten 0.05 mg hydrazin/l (1 mg hydrazin motsvarar 1 mg syre). Utgående från hydrazinkonsumtionsdata erhålls en syretillförsel på ca (tankstorlek = 2 000 l) 100 mg syre per dygn.

8.3.2 Övertrycksfritt (trycklöst) system

Resultaten redovisas i tabell 11. I försöken med det trycklösa systemet utan paraffinskikt uppmättes en syrekonsumtion vid ca 50°C ackumulatortemp på ca 0.33 mg/l och dygn vilket motsvarar 700 mg syre per dygn.

Vid motsvarande försök med ett paraffinskikt på vattenytan i tanken erhöles en lägre syrekonsumtion. En syrekonsumtion på ca 0.075 mg syre/l och dygn uppmättes.

8.4 Diskussion

8.4.1 Korrosionshastighet

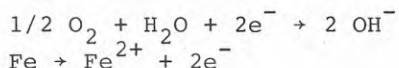
De genomförda mätningarna visar att vid användning av ett traditionellt övertryck - ackumulatorsystem med expansionskärl erhålls en syretillförsel i storleksordningen 100 - 200 mg dygn vid kontinuerlig uppladdning 1 gång per dygn. I det trycklösa systemet med ett paraffinskikt erhålls en syretillförsel som är

densamma eller något högre än i ett traditionellt ackumulatorsystem med expansionskärl.

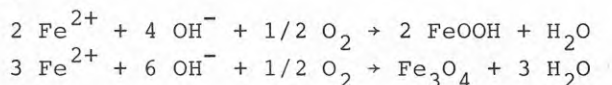
Om det antas att den mängd syrgas som diffunderar in i systemet förbrukas enligt följande reaktioner enligt referens (1), blir den upplösta mängden järn följande:

Beräkning av mängd upplöst järn

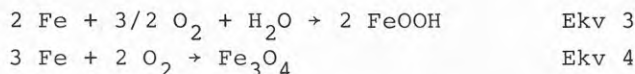
Den syrgas som diffunderar in i systemet förbrukas enligt följande reaktioner:



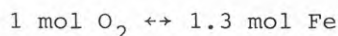
Järnet i värmesystemet oxideras således först till järn(II), därefter till högre valenstal t ex enligt följande:



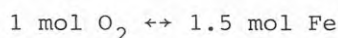
För beräkning av mängd upplöst järn och mängd bildad rost kan totalreaktionen skrivas



Enligt Ekvation 3 gäller



Enligt Ekvation 4 gäller



Ett gram syrgas löser sålunda upp ca 2.6 gram järn och bildar ca 3.6 gram korrosionsprodukter. Den upplösta mängden järn kan omräknas till korrosionshastighet $\mu\text{m}/\text{år}$ enligt följande.

Om det förutsätts att korrosionen sker likformigt över hela värmesystemets yta kommer den maximala avfrätningen att bli

$$\begin{aligned} \mu\text{m} &= \frac{\text{mg O}_2 \cdot 2.6}{7.8 \cdot 10^3 \cdot A} \\ &(\text{per år}) \end{aligned}$$

A = värmesystemets yta i m^2

mg O_2 = tillförd syremängd i mg per år

I det traditionella ackumulatorsystemet med expansionskärl uppmättes ett syreinläckage på ca 100 - 200 mg/dygn vid kontinuerlig urladdning/upp-

laddning 1 gång per dygn. Om det antas att systemet körs i 200 dagar på detta sätt erhålls ett årligt syreinläckage på 20 000 - 40 000 mg syre. Om det antas att den för korrosion exponerade stålytan är 20 m² erhålls en syretillförsel på 1 000 - 2 000 mg syre per m² stålyta och år. Detta skulle motsvara en korrosionshastighet på ca 0.3 - 0.7 μ m per år. Om syreläckaget antas vara dubbelt så stort som det uppmätta, kommer korrosionen i varje fall ej bli större än 2 μ m/år.

Den korrosionshastighet som erhålls måste betecknas som låg, maximalt 2 μ m/år. Någon genomfrätning av systemen under rimlig tid kan ej förväntas. Däremot kommer det att bildas en ansevärd mängd korrosionsprodukter som kan ge problem t ex igensättningar i termostater, ventiler, m m. Efter en driftperiod på 10 - 20 år kan mängden av korrosionsprodukter bli flera kilo.

Det bör dock poängteras att vid beräkning av korrosionshastigheten har antagits att denna är allmän - dvs likformig i systemet. Genom lokal korrosion kan genomfrätningar erhållas på betydligt kortare tid. För att perforera en radiator med en frätgrop med diametern 1 mm åtgår t ex endast 3 mg syre.

Om korrosionsprodukterna ansamlas i t ex ackumulatorns botten finns förutsättningar för att s k avlagringskorrosion kan uppstå. Denna typ av korrosion kan ge lokala punktangrepp och således ge genomfrätningar på kort tid.

På vilket sätt korrosionen sker i värmesystem är ej klarlagt. Erfarenhetsmässigt kan dock konstateras att i värmesystem sker ofta korrosionen lokalt i den del av systemet där själva syret tillförs t ex i expansionskärlet eller förbindelseledningen panna-expansionskärlet om ett rostfritt expansionskärlet användes.

Expansionskärlet i stål har visat sig korrodera sönder ganska snabbt medan däremot inga korrosionsangrepp på övriga delar av systemet som regel ej konstaterats. Vid övergång till rostfria expansionskärlet har genomfrätningar i förbindelseröret - som utförts i järn - mellan panna och expansionskärlet konstaterats istället. Förbindelseröret har då utförts i rostfritt material och så vidare.

Den övergång från expansionskärlet i järn till rostfria system som skett kan därför förefalla tveksam, speciellt i system med stora volymvariationer t ex ackumulatorsystem. I princip torde endast en förflyttning av korrosionen från expansionskärlet till värmesystemets övriga delar att ske.

8.4.2 Syresättning av vattensystemet

De gjorda mätningarna visar således att ett syreinläckage i värmesystemet sker oavsett om systemet är

av trycktankmodell och försett med expansionskärl eller av den övertrycksfria typen med en paraffinfilmen som syrespärr.

I system med expansionskärl är sannolikt det hastighetsbestämmande steget för syretransporten till värmesystemet massflödestransporten av vatten mellan ackumulator och expansionskärl. Diffusionstransport kan uteslutas på grund av den i de flesta installationer relativt långa förbindelseledningen ackumulator - expansionskärl. Vid en temperaturvariation på 50°C (40°C - 90°C), kommer volymen att förändras med 28 l/m^3 . En annan faktor är syresättningshastigheten i expansionskärl. Korrosionshastigheten i system med expansionskärl kan därför sannolikt relateras till volymflödet mellan ackumulator - expansionskärl - dvs eldningsfrekvens och temperaturdifferensen vid uppladdning/urladdning - och syresättningshastigheten i expansionskärl.

Vid varje uppvärmningscykel kommer det varma vattnet i tanktoppen att expandera till expansionskärl. Eftersom den till expansionskärls bottendel expanderande vattenvolymen är varmare än det i expansionskärl befintliga vattnet kommer densitetsskillnaderna i vattnet förorsaka en omblandning/omsiktning i expansionskärl. Expansionskärls syreberikade kalla ytvatten kommer att ersättas med varmare ackumulatorvatten som har en låg syrehalt. Vid värmeuttag från ackumulatortoppen kommer vattnet i expansionskärls botten som nu syreberikats, att strömma ner till ackumulatortoppen.

Mängden syre som kommer att transporteras via expansionskärl kommer sålunda bli beroende på antalet cykler värmeförsörjning/värmeuttag samt på återluftningshastigheten i expansionskärl. Återluftningshastigheten i expansionskärl beror på temperaturen och omblandningen. Temperaturen i expansionskärl är normalt $15 - 30^{\circ}\text{C}$ lägre än temp i ackumulatortoppen, vilket gynnar syresättningen av vattnet. Syrets löslighet i vatten stiger visserligen med sjunkande temperatur. Syrets löslighet vid 90°C är dock fortfarande ca 1.5 mg/l varför enbart en hög temperatur ej är tillräckligt för att undvika syre. Då ingen tillförsel eller uttag av värme från tanken sker, - små temperaturvariationer med liten volymförändring - blir syreinflödet till värmesystemet mycket lågt.

I trycklösa ackumulatortanksystem är vid normal användning (uppladdning/urladdning 1 gång per dygn) det hastighetsbestämmande steget för syretransporten till värmesystemet syrediffusionen genom oljefilmen. Detta gäller om volymvariationerna i vattensystemet är så stora att gasvolymen ovanför vätskeytan kan antas vara luft. Vid små temperaturdifferenser i systemet kommer däremot sannolikt syretransporten genom vattenlåset i högre grad vara det hastighetsbestämmande steget. Det bör dock påpekas att även om temperaturvariationen i systemet är liten torde relativt

stora syremängder transporteras in i systemet via vattenlåset. Om temperaturen t_{ex} varierar $\pm 2.5^{\circ}\text{C}$ vid ca 65° kommer volymsvariationen bli 3.5 l. Ett insug av 3.5 l luft genom vattenlåset motsvarar ett syreinflöde på 1 gram. Syreinflödet genom diffusionstransport genom vattenlåset torde vara försumbart.

En osäkerhetsfaktor vid bestämning av de olika systemens syrekonsumtion är själva mätmetoden för bestämning av syrekonsumtionen. Hydrazinet kan oxideras förutom av syre också av trevärt järn som reduceras till tvåvärt. Emellertid visar de genomförda mätningarna på ackumulatorsystemet med expansionskärl att syretillförseln - hydrazinkoncentrationen sjönk - endast i samband med att ackumulatorn laddades ur (syreberikat vatten i expansionskärlet transporteras till ackumulatorn). Vid konstant temperatur i ackumulatorn var hydrazinkoncentrationen konstant. Detta visar att hydrazinoxidationen sannolikt till större delen beror på inläckande syre och ej beror på reduktion av järn III-föreningar. Hydrazintillsatsen kan också, genom själva syrekonsumtionen påverka de jämviktsförhållanden som styr syretransporten. En ytterligare felkälla är förbindelseledningen ackumulator-expansionskärl, ca 0.5 m, som var gjord i järn och som sålunda kan fungera som en "syrespärr".

Slutsatsen utifrån de gjorda mätningarna blir att någon större skillnad i syretillförsel till själva vattnet vid normaldrift mellan de olika ackumulatorsystemen har ej kunnat uppmätas. Huruvida den tillförda mängden syre är tillräckligt låg för att ej förorsaka korrosionsproblem är svårare att besvara. En jämförelse av syretillförseln i olika system visas i figur 16. De i denna undersökning uppmätta nivåerna ligger i storleksordningen $5 \cdot 10^{-2}$ - $1 \cdot 10^{-1}$ $\mu\text{g m}^{-2}$ och år. För att få en indikation på ett gränsvärde för en högsta acceptabel syretillförsel kan man utgå ifrån figur 16. Det högsta värdet för acceptabel syretillförseln bör ej överstiga den maximala syretillförseln som uppmätts i de polymersystem i vilka man haft uppenbara problem till följd av korrosion. Syretillförseln bör därför ej överskrida ca $0.04 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}$ (värden uppmätta i Norrköpingsfallet, se figur 16 och referens (15)). Utgående från detta synsätt är de uppmätta syretillförselvärdena i denna undersökning i riskområdet för att korrosionsproblem t_{ex} igensättningar i termostater skall uppstå.

Resultaten visar att vid användning av ett trycklöst ackumulatorsystem med ett spärrskikt med paraffinolja erhålls en syretillförsel till själva vattensystemet på samma nivå som ackumulatorsystem med expansionskärl. Detta förutsätter att paraffinoljefilmen förblir intakt.

De gjorda undersökningarna beträffande eventuella korrosionsproblem i de olika systemen belyser emellertid endast effekter som beror på syre som löses i

vattnet. I det övertrycksfria systemet föreligger dessutom en risk för atmosfärisk korrosion i tanken i luftvolymen ovanför vattenytan. Denna elimineras i systemen med indirekt värmeväxling.

Ovanstående resonemang visar att vid ackumulatordrift blir syreintransporten/korrosionsrisken avsevärt större än i traditionella vattenburna system utan ackumulator.

8.4.3 Atmosfärisk korrosion

I de övertrycksfria ackumulatorsystemen utan expansionskärl och med direkt energiutbyte genom vatten-cirkulation finns en risk för atmosfärisk korrosion i själva tankens expansionsutrymme. I princip föreligger ju samma förhållanden som i ett traditionellt expansionskärl i kolstål. Skillnaden i detta fall är att vattenytan belagts med en paraffinfilm. Enligt en tillverkare av övertrycksfria system skall även plåtytorna beläggas med ett paraffinskikt - tanken fylls upp med vatten med en paraffinfilm ovanpå (vattenlåset slutar ca 5 mm nedanför ackumulators topp).

Huruvida detta förhindrar korrosion är ej känt. En jämförelse med oljetankar ligger nära tillhands. I en oljetank erhåller man som regel ej någon korrosion på de oljetäckta ytorna, medan däremot där vatten avskiljts erhålls en kraftig korrosion. En bidragande orsak till denna korrosion anses av en del vara oljans svavelhalt och därmed följande aneoroba mikrobakteriella aktivitet som ger produkter som gynnar korrosionsangrepp. En annan förklaring är att det utfällda vattnet i oljan innehåller klorid. I de diskuterade ackumulatorsystemen förefinns ej dessa problem.

Risken för atmosfärisk korrosion kan dock enkelt elimineras genom att ansluta ett expansionskärl bredvid ackumulatort, t ex via en hävert. Ett annat sätt att lösa problemen är att använda värmeväxlare i tanken enligt figur 5. Detta ger en något lägre lagringskapacitet i tanken (ca 5 - 7°C temperaturdifferens i värmeväxlare). Andra metoder som kan användas för att minska syretillförseln skulle kunna vara en bälg eller ballong i material som är syrediffusions-tätt.

8.4.4 Sammanfattning, korrosionsproblem i ackumulatorsystem

Undersökning av syretillförseln till vattnet i ackumulatorsystemen visar att även om anläggningen är försedd med expansionskärl eller har en paraffinoljefilm på vattenytan, sker en syretillförsel i en storleksordning som kan innebära problem. Det bör poängteras att i ackumulatorsystem - där stora volymvariationer normalt erhålls - kommer syretillför-

seln från expansionskärl till värmesystemet att öka i jämförelse med ett konventionellt system utan ackumulator. Efter en längre tids användning föreligger en betydande risk för avlagringskorrosion i t ex ackumulatorns botten.

Syretillförseln kan minskas genom att dels alltid installera expansionskärl dels minimera återluftningsytan i expansionskärlet.

I de s k trycklösa systemen (övertrycksfria) som är öppna till atmosfären - eller anslutna till atmosfären via ett vattenlås - föreligger dessutom en stor risk för atmosfärisk korrosion ovanför vattenytan om ej plåtytan skyddas/ytbehandlas på något sätt. Korrosionsrisken kan alternativt elimineras genom anslutning av ett expansionskärl - systemet kan fortfarande göras trycklöst - eller genom att använda indirekt värmeväxling i tanken.

LITTERATUR

1. Molander, A, Korrosion i värmesystem med plaströr, Studsvik EI-82/159 (1982).
2. Rudling, L, Undersökning av rökgasemissioner vid fliseldning på snedrost och i retort, SNV PM (1983).
3. Rudling, L, Energi-Miljöoptimering av industriella biobränsleeldade system - en målkonflikt? SNV PM (1983).
4. Asplund, F, Definition av verkingsgrader, beräkning av verkningsgrader, önskvärda verkningsgrader. Stencil, Småhusuppvärmning, symposium i Ljungby 16 - 18 nov 1983.
5. Vedeldning, kursmaterial för utbildning av EPD-instruktörer, Bygginfo januari (1980).
6. Orth, L, Bränsle från egen skog, NE 1982:1.
7. Moderna krav på vedeldning, Råd och Rön nr 1, 1984.
8. Rydberg, J, Fyr och flamtemperaturens inflytande på förbränningsresultatet vid vedpannor, VVS, nr 6 (1942).
9. Allbränslepannan står sig. Råd och Rön, nr 2 (1982).
10. Rudling, L, Rökgasemissioner vid användning av olika fasta bränslen i småskaliga system, SNV PM 1666 (1983).
11. GENGAS, Svenska erfarenheter åren 1939 - 1945, Stockholm 1950.
12. Hjärne, U, En liten oekonomisk skrift om vedsparande (1696).
13. Ewers, P O, Lindkvist, K, Vedförbränning i befintliga pannor, Statens Energiverk, FBA-84/14 (1984).
14. Rudling, L, m fl, Kemisk och biologisk karakterisering av rökgaser från småskalig eldning med flis och ved, SNV PM 1331 (1980).
15. Gott, K, Kelén, T, Korrosion i värmesystem med plaströr. Teori och driftserfarenheter, Studsvik Report EI-79/33.
16. Rudling, L, Undersökning av rökgasemissioner vid förbränning av ved i kaminer/pannor, SNV PM 1645, (1983).

17. Cooper, J, Malek, D, Editors, Residential solid fuels, Proceedings 1981 International Conference, June 1 - 4, 1981, Portland, Oregon, USA.
18. Hagström, U m fl, Forskning på eldning av bio-bränsle, NE delrapport 1 (2760 141), (1983).
19. Rudling, L, Rökgasemissioner vid småskalig vedeldning, en undersökning av korrelationssamband mellan olika rökgasparametrar, Statens Naturvårdsverk, SNV PM 1714 (1983).
20. Muntlig information av Kerstin Hindrum, SNV. Undersökning av styckevedseldad keramisk förugn.
21. Gustavsson, L, Provning av åtta vedpannor, Statens Provningsanstalt, 1984-05-16.
22. SNVs Förslag till allmänna råd: Småskalig eldning med fasta bränslen i tätbebyggda områden. 1983-08-29, Statens Naturvårdsverk, Solna.
23. Kiiski, H, Juurikala, E, Työteliäsvaihtoeto, Tekniikan Maaailma 5 (1982).
24. Bernergård, L, Hindrum, K, Lindau, L, Småskalig eldning med fasta bränslen i tätbebyggda områden, SNV PM 1713, Statens Naturvårdsverk, Solna (1983).
25. Miljöeffekter av ved och torvförbränning, SNV PM 1708, Statens Naturvårdsverk, Solna (1983).
26. Heizkessel, Prüfregeln. DIN 4702 (1967).
27. Schuster, R, Berge, N, Provning av fastbränsleeldade pannanläggningar <0.5 MW, SNV PM 1929 (1985).

ENERGIBALANS VID ACKUMULATORDRIFT

Magasinspanna med omvänd förbränning, kylt vedmagasin och keramiskt isolerad hård och brännkammare

TILLFÖRD ENERGI

- tillförd bränsleenergi	MJ	596
- uppellad bränslemängd	kg	41.3
- bränslefukthalt	%	19.5
- effektivt värmevärde	MJ/kg	14.44
- bränsleeffekt	kW	41

NYTTIGGJORD ENERGI

- uttagen energi i vatten från pannan med framledningstemp >70°C vid samtidig fyr i pannan	MJ	336
- uttagen energi i vatten från pannan med framledningstemp >70°C efter det att fyren brunnit ut (eftervärme från keramiken)	MJ	49
- totalt uttagen energi med framledningstemp >70°C under försöket		385

PANNVERKNINGSGRAD	%	64.5
-------------------	---	------

TOTALA FÖRLUSTER	%	35.5
------------------	---	------

PANNEFFEKT	kW	23
------------	----	----

FÖRLUSTER, uppmätta

Förluster fritt värme

- rökgasförluster	%	23
- omgivningsförluster ²⁾ (isolations/strålningsförluster)	%	9.5
- genomströmningsförluster (skorstensförluster vid stillestånd)	%	<1 ¹⁾

Förbränningsförluster

- oförbränt i rökgas (sot, kolmonoxid)	%	1
- oförbränt i aska	%	<1
- summa förbränningsförluster	%	<2

FÖRBRÄNNINGSVERKNINGSGRAD	%	>98
---------------------------	---	-----

SUMMA FÖRLUSTER, uppmätta ⁴⁾	%	24-26
---	---	-------

RESTFÖRLUSTER	%	9.5-11.5
---------------	---	----------

VÄRMEVERKNINGSGRAD

- pannverkningsgrad + omgivningsförluster	%	74
---	---	----

1) Luftspjäll stängdes då fyren brunnit ut

2) Omgivningsförlusterna kunde ej uppmätas på grund av stora temperaturvariationer på pannans olika delar. Vid inspektion av pannan efter varje försök kunde inga tjär/sot avsättningar konstateras i eldstad, askugn, brännkammare. Endast i det kylda bränslemagasinet uppstod tjärbeläggningar. Dessa beläggningar hade dock en relativt konstant omfattning efter en tids eldning i pannan. Av ovan nämnda skäl har antagits att omgivningsförlusterna = restförluster.

3) Intermittent eldning 1 gång per dygn.

4) Exklusive omgivningsförluster som ej uppmätts.

Driftsdata vid energibalans

Magasinspanna med omvänd förbränning

Pannvattentemperatur vid eldningens början ¹⁾	°C	53
Gaskanaltemperatur vid eldningens början ¹⁾	°C	97
Cyklontemperatur vid eldningens början ¹⁾	°C	77
Gaskanaltemperatur då fyren brunnit ut	°C	520
Cyklontemperatur då fyren brunnit ut	°C	450
Pannvattentemperatur 8 h efter att fyren brunnit ut	°C	61
Gaskanaltemperatur 8 h efter att fyren brunnit ut	°C	160
Cyklontemperatur 8 h efter att fyren brunnit ut	°C	140
Bränsle		
fukthalt	%	19.5
effektivt värmevärde	MJ/kg	14.4
Tillförd bränsleenergi	MJ	596
Brinntid	h	4.0
Bränsleeffekt	kW	41
Panneffekt	kW	23
Rökgasttemperatur MV	°C	300
Rökgasflöde, totalt	nm ³	85
Sekundärluftflöde	nm ³	22
Koldioxidhalt MV	%	10-11
Kolmonoxidhalt MV	ppm	1500
Primärluftspjäll öppning	mm	10
Sekundärluftspjäll öppning	mm	Ø40
Dragstyrka i skorsten	Pa	40
Fläkt och rökgasspjäll stängdes då bränslet brunnit ut		

¹⁾ Temperatur efter ca 20 timmars avsvälning vid intermittent eldning 1 gång/dygn

Pannverkningsgrad vid ackumulatoreldning i magasinspanna med omvänd förbränning, kylt vedmagasin och keramisk isolerad hård och brännkammare. Bränsleeffekt 10 - 12 kg/h

Driftsförfarande	Uppeldad bränslemängd	Fukthalt	Pannverkningsgrad
	kg	%	%
Provstart med kall panna/keramik, ca 25°C ²⁾	47.3	19.5	60.7
"_	55.3	21.5	57.8
"_	53.3	21.9	58.3
"_	84.9	19.5	57.0
		Medelvärde	58.45
Provstart ¹⁾ efter ca 20 timmars ¹⁾ avsvälning av panna ²⁾ (panntemperatur vid provstart ca 50-55°C)	58.1	21.9	63.1 ³⁾
"_	88.1	21.9	65.7
"_	79.1	26.5	64.2
"_	48.4	21	66.6
"_	75.9	21	63.8
"_	40.7	19.5	62.6
"_	82.4	19.5	65.8
"_	41.3	19.5	64.5
"_	34.2	17.5	64.5
		Medelvärde	64.5
Provstart ¹⁾ efter ca 20 timmars ¹⁾ avsvälning av panna ²⁾ (panntemperatur vid provstart ca 50-55°C). Fläkt och luftspjäll ej stängt då fyren brunnit ut	66.5	19.5	58.6
"_	57.7	19.5	61.5
"_	45.8	17.5	60.2
"_	41.4	17.5	58.4
"_	38.9	17.5	57.6
"_	55.25	19.3	58.3
"_	72.8	19.3	62.4
		Medelvärde	59.57
		Standard-avvikelse	1.69

1) Intermittent eldning 1 gång per dygn.

2) Fläkt och luftspjäll stängda då fyren brunnit ut.

3) Panna nysotad.

Energibalans vid ackumulatoreldning³⁾ och direkteldning i kyld överförbränningspanna

		Akkumula- toreldning	Direkteldning
TILLFÖRD ENERGI			
- tillförd bränsleenergi	MJ	697	413 ⁴⁾
- uppellad bränslemängd	kg	47.9	27.2
- bränslefukthalt	%	19.0	16
- effektivt värmevärde	MJ/kg	14.55	15.9
NYTTIGGJORD ENERGI			
- uttagen energi i vatten från pannan med framledningstemperatur $\geq 70^{\circ}\text{C}$	MJ	442	205 ⁴⁾
PANNVERKNINGSGRAD	%	63.4	49.6
TOTALA FÖRLUSTER	%	36.6	50.4
PANNEFFEKT	kW	22	5.5
FÖRLUSTER, uppmätta			
Förluster fritt värme			
- rökgasförluster	%	22	9
- omgivningsförluster (isolations/ strålningsförluster)	%	3	6
- genomströmningsförluster ¹⁾	%	<1	-
Förbränningsförluster			
- oförbränt i rökgas, kolmonoxid	%	5 ⁵⁾	≥ 8 ⁵⁾
- oförbränt i aska	%	<1	<1
- summa förbränningsförluster	%	5-6	>8-9
FÖRBRÄNNINGSVERKNINGSGRAD	%	94-95	<91-92
SUMMA FÖRLUSTER, uppmätta	%	30-32	23-24
RESTFÖRLUSTER	%	6.6-4.6 ⁶⁾	26.4-27.4
VÄRMEVERKNINGSGRAD			
- pannverkningsgrad + omgivningsförluster	%	66.4	55.6

- 1) Luftspjäll och fläkt stängdes då fyren brunnit ut, varför genomströmningsförlusterna är mycket låga.
- 2) Omgivningsförlusterna har ej uppmätts.
- 3) Intermittent eldning 1 gång per dygn.
- 4) Under mätperioden: 10.3 h.
- 5) Vid dessa höga oförbräntförluster, CO-halter $\geq 8\ 000$ ppm, innehåller rökgasen också vätegas och kolväten som ej analyserats. Förbränningsförlusterna är därför sannolikt högre, 1.5 - 2 ggr, än de uppmätta förlusterna.
- 6) Restförlusten beror sannolikt till stor del på oförbrända komponenter som ej analyserats (se fotnot 5).

Driftsdata vid energibalans, kyld överförbränningspanna

		Akkumula- toreldning ²⁾	Direkteldning
Pannvattentemp vid eldningens början	°C	35	
Pannvattentemp vid eldningens slut	°C	70	
Bränsle			
fukthalt	%	19.0	16
effektivt värmevärde	MJ/kg	14.55	15.19
Tillförd bränslemängd	kg	47.9	27.2
Brinntid	h	4.5	10.3 ¹⁾
Bränsleeffekt	kW	35	11.1
Panneffekt	kW	22	5.5
Rökgasflöde	nm ³ /h	-	-
Rökgastemperatur MV	°C	300	140
Koldioxidhalt MV	%	10.43	11
Kolmonoxid MV	ppm	8 000	≥15 000
Dragstyrka i skorsten	Pa	40	10

1) Mätperiodens längd.

2) Fläkt och rökgasspjäll stängdes då bränslet brunnit ut.

Pannverkningsgrad vid ackumulatoreldning i kyld överförbränningspanna.
Bränsleeffekt 8-9 kg/h, panneffekt ca 20 - 22 kW

Uppeldad bränslemängd	Fukthalt	Pannverkningsgrad
kg	%	%
38.6	19	60
18.0	19	59
-	pannan sotad	-
80.0	19	62.1
24.4	19	58.3
47.9	19	63.4
47.9	19	61.2
29.0	16	58.1
30.1	16	60.4
35.5	16	59.9
-	pannan sotad	-
44.7	16	60.4
30.1	15	59.8
	Medelvärde	60.2
	Standard- avvikelse	1.50

Bränsleeffekt 4.5 kg/h, panneffekt 12 kW

Uppeldad bränslemängd	Fukthalt	Pannverkningsgrad
kg	%	
31.5	16	63.0

Energibalans vid ackumulatordeldning¹⁾ i keramiskt isolerad förugn ansluten till en panna

TILLFÖRD ENERGI

- tillförd bränsleenergi	MJ	319
- uppelad bränslemängd	kg	21.2
- bränslefukthalt	%	16.6
- effektivt värmevärde	MJ/kg	15.06
- bränsleeffekt	kg/h	7.06

NYTTIGGJORD ENERGI

- uttagen energi i vatten från pannan med framledningstemp >70°C	MJ	155
---	----	-----

PANNVERKNINGSGRAD	%	48.6
-------------------	---	------

TOTALA FÖRLUSTER	%	51.5
------------------	---	------

PANNEFFEKT	kW	14.3
------------	----	------

FÖRLUSTER, uppmätta

Förluster fritt värme

- rökgasförluster	%	21
- omgivningsförluster ³⁾ (isolations/strålningsförluster)	%	23.9-25.9
- genomströmningsförluster ²⁾	%	<1

Förbränningsförluster

- oförbränt i rökgas, kolmonoxid	%	1.5
- oförbränt i aska	%	<1
- summa uppmätta förbränningsförluster ³⁾	%	1.5-2.5

FÖRBRÄNNINGSVERKNINGSGRAD	%	97.5-98.5
---------------------------	---	-----------

SUMMA FÖRLUSTER, uppmätta		22.5-24.5
---------------------------	--	-----------

RESTFÖRLUSTER		26.9-28.9
---------------	--	-----------

VÄRMEVERKNINGSGRAD

- pannverkningsgrad + omgivningsförluster ³⁾		72.6-74.6
---	--	-----------

1) Intermittent eldning 1 gång per dygn.

2) Spjäll och fläkt stängdes då fyren brunnit ut.

3) Omgivningsförluster ej uppmätta. Svårt på grund av stora temperaturvariationer på förugnen.
Vid uppskattning av omgivningsförlusterna har antagits att förbränningsförlusterna är dubbelt så höga som de uppmätta, dvs 3 % istället för 1.5 %. Summa förluster blir då 24 - 26 %.

Pannverkningsgrad vid ackumulatoreldning i förugn ansluten till
en panna¹⁾

Uppeldad bränslemängd	Fukthalt	Pannverkningsgrad
kg	%	
29.1	16	51.0
22.7	16	48.1
21.2	16.6	48.6
39.1	16.6	48.9
	Medelvärde	49.15

1) Intermittent eldning 1 gång per dygn.

Driftsdata vid ackumulatoreldning i förugn

Rökgastemperatur	MV	°C	250
	max		280
Koldioxidhalt	MV	%	9
Kolmonoxidhalt	MV	ppm	2 000
Panntemperatur vid start		°C	60

Stoft och tjärprovtagning

Undersökt system	Drifts-förfarande	Pann-effekt kW	Provtag-ningstid h	Provvolym nm ³ t g	Rökgastemp °C	Koldioxidhalt MV, % (min-max)	Kolmonoxidhalt MV, ppm (min-max)	Stofthalt mg/nm ³ t g vid 10 % CO ₂	Tjårhalt mg/nm ³ t g vid 10 % CO ₂	Stofthalt ³⁾ mg/MJ	Tjårhalt ³⁾ mg/MJ
Magasinspanna med omvänd förbränning i kylt bränslemagasin och keramiskt isolerad hård och brännkammare	Akkumulator- ¹⁾ eldning	23	4	3.5	300	10.5 (8-16)	1 500 (50-8000)	50	10	33	6
Överförbränningspanna med kylld eldstad	Akkumulator- ²⁾ eldning	22	1.5	1.1	310	10 (6-14)	7 000 (1500->15000)	200	400	110	220
"	Direktfeldning	5-6	1.5	2	130-150	11 (8-14)	>10000	350	2000	190	1100
Keramiskt isolerad förugn med underförbränning	Akkumulator- ¹⁾ eldning	14	2	3.0	250	9	2 000	120	100	66	55

1) Ett vedinlägg under provperioden.

2) Två vedinlägg under provperioden.

3) SNVs omräkningsfaktor från mg/nm³ vid 10 % CO₂ till mg/MJ på 0.55 har använts.

Isolationsförluster ackumulatortankTankvolym 1.85 m^3

Expansionskärl 100 l

Isolation 150 mm mineralull

Tank placerad inomhus i pannrum

Utomhustemp ca 0°C

Isolationsförlusterna uppmättes genom att mäta temperaturändringen i en vilande ackumulator. Under försöken skedde ingen eldning i pannrummet.

Temperatur i vilande ackumulator

	Efter 24 h		Δt
Nedre nivå ¹⁾	74.08	69.51	4.57
Mitt nivå	88.47	84.53	3.94
Övre nivå ¹⁾	88.77	85.22	3.55
	Δt medel =		4.02

Vid en temperaturnivå i ackumulatorn på $54 - 69^\circ\text{C}$ (nedre respektive övre del) erhöjls ett temperaturfall på 2.8°C per dygn.

Energiförlust per dygn

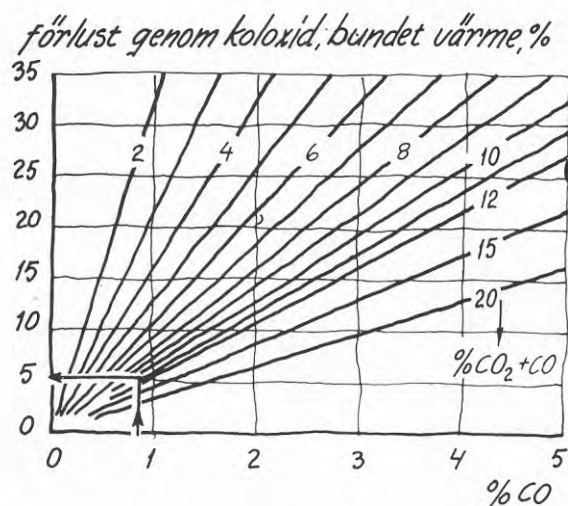
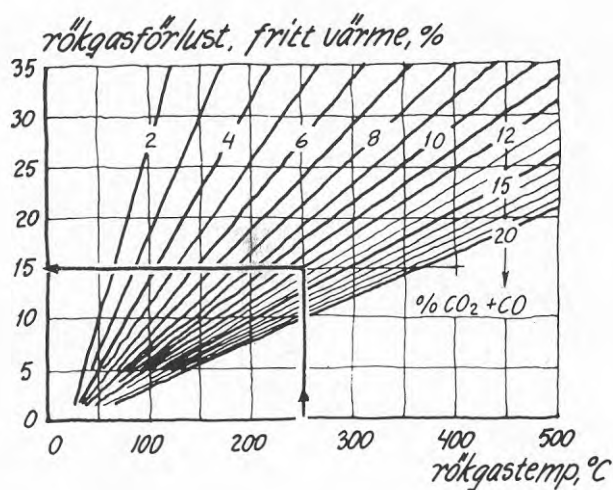
Temperaturdifferens per dygn	Energiförluster från tanken per dygn kWh/m^3 tankvolym
4.0	4.6
2.8	3.2

¹⁾ Ca 100 mm från botten respektive tak.

Analys av hydrazinhalt i ackumulator

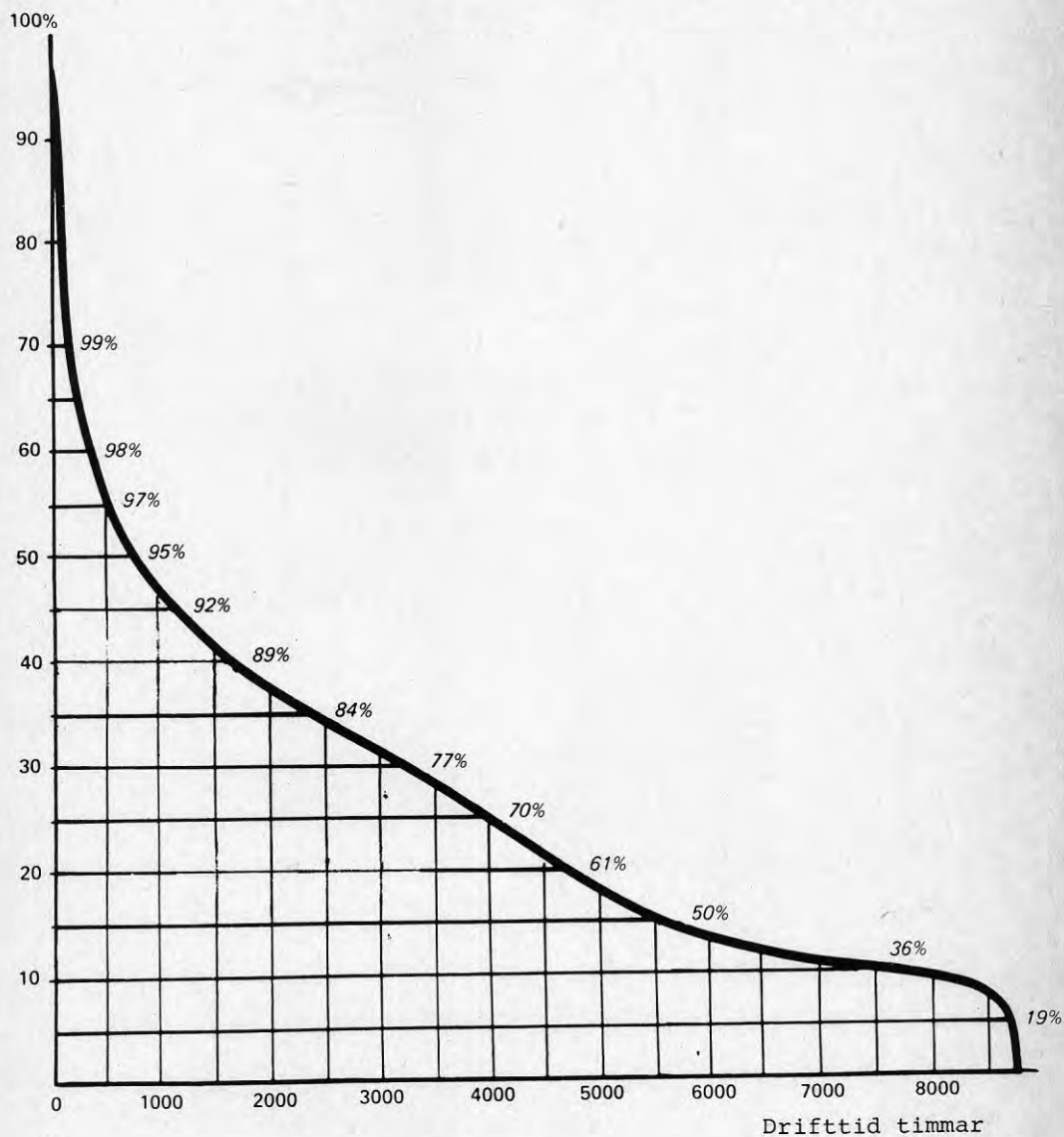
Undersökt system	Tid- punkt	mg Hydrazin/l nedre ¹⁾ övre ¹⁾	
Övertrycksfritt system			
Paraffinfil	30/5		
4 gram hydrazin tillfört. Kontinuerlig pumpcirkulation radia- torsystem/panna/acku- mulator	1000 13.25 23.29 1/5 13.30 2/5 0630	- 0.455 0.36 0.30 0.24	- 0.475 0.35 0.30 0.255
Trycktank med öppet expansionskärl			
Dosering 2 gram hydrazin kontinuerlig pumpcirkula- tion radiatorsystem/panna /ackumulator	23/4 1235 1700 2100 24/4 1752	- 0.195 0.190 0.150	- 0.190 0.190 0.150

¹⁾ 0.5 meter från ackumulatorns topp respektive
bottendel. Ackumulatormått = $l \cdot b \cdot h = 1 \times 1 \times 2$ m.



Rökgasförluster vid vedeldning.
Figurerna hämtade från referens 5.

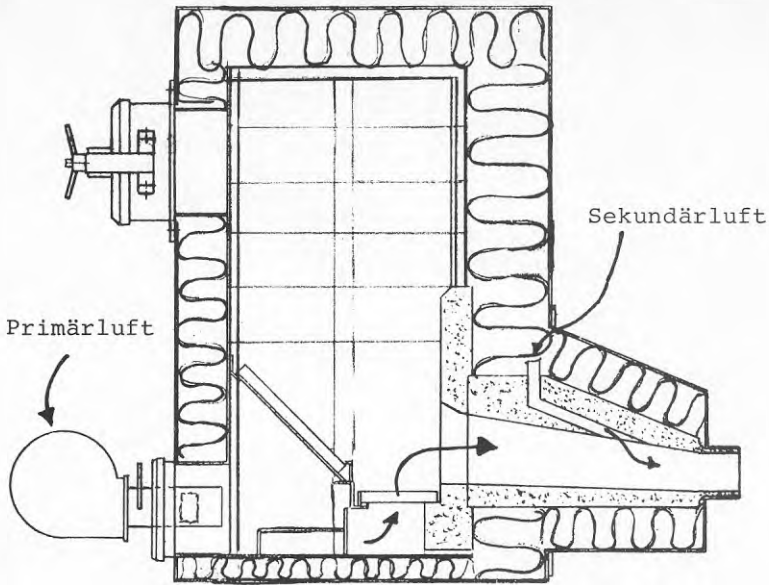
Panneffekt: % av dimensionerande effektbehov



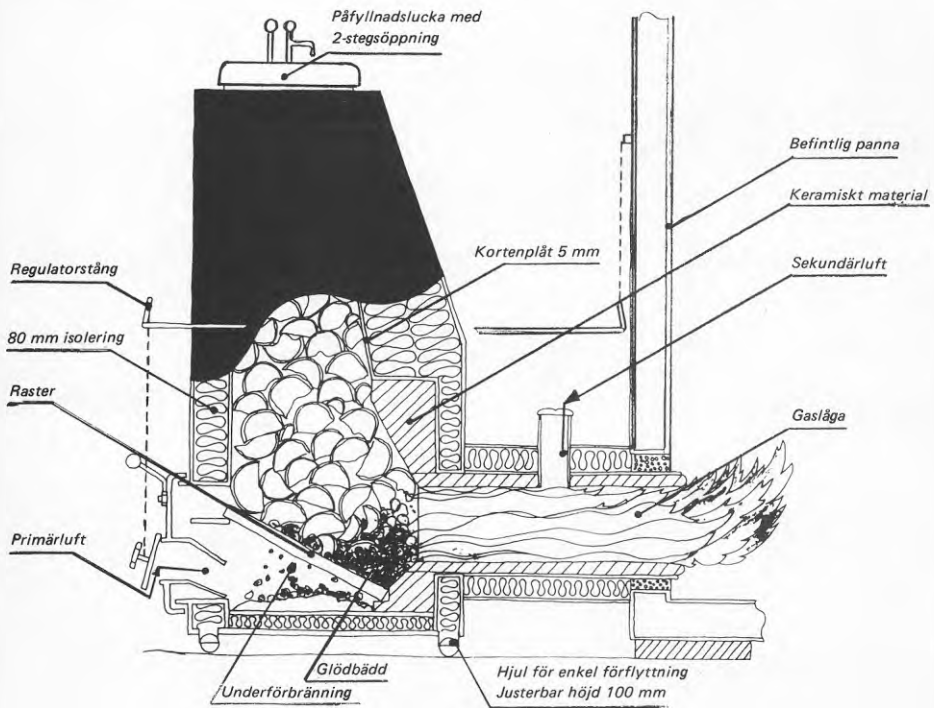
Figur 1

Varaktighetsdiagram för effektbehov under året.

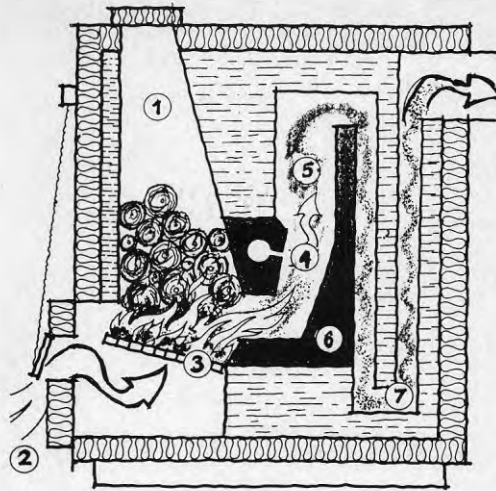
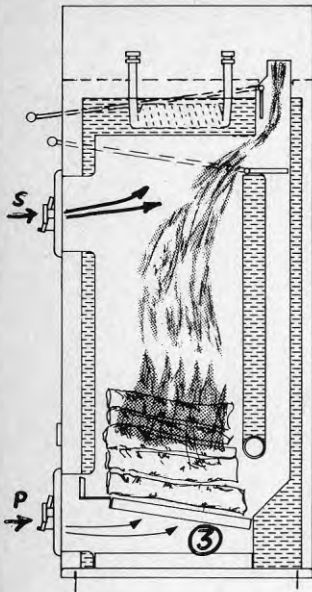
Om det antas att det dimensionerande effektbehovet är 10 kW, kommer en effekt >6 kW endast krävas ca 300 timmar per år.



Förugn: fabrikat Malmbergs Mekaniska Verkstäder AB.



Förugn: fabrikat Kenjon AB.



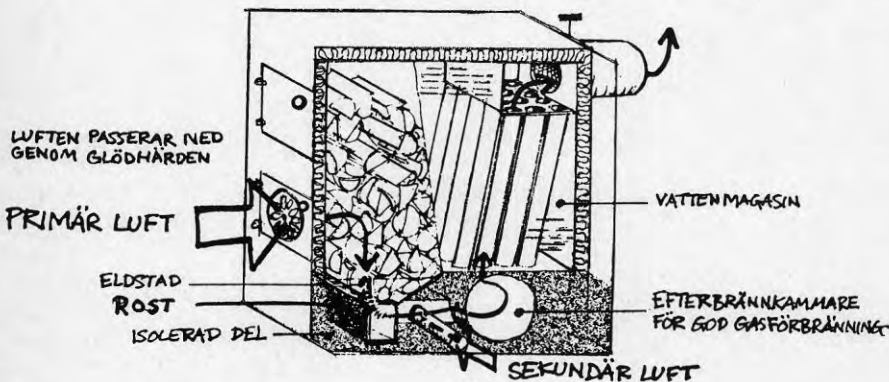
- | | |
|--------------------|-----------------------|
| 1. Bränsleförråd | 5. Gasförbränningsrum |
| 2. Primärluftlucka | 6. Keramiskt material |
| 3. Roster | 7. Konvektionskanaler |
| 4. Sekundärluft | |

Överförbränning

Vid överförbränning strömmar förbränningsluften upp genom rosten och upp till bränslet. Luften strömmar genom hela bränsleskiktet och rökgaserna sugts ut genom en rökgaskanal i eldstadens övre del. Hela bränslemängden deltar härvid i förbränningen. Vid denna typ av förbränning är det svårt att kontrollera fyrhöjd och effekt.

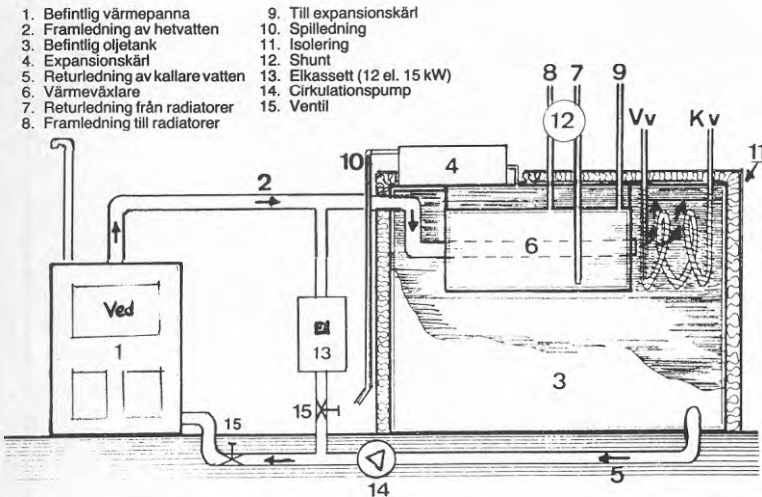
Underförbränning

Vid underförbränning strömmar förbränningsluften upp genom rosten, men man leder inte förbränningsluften upp genom hela bränslemängden. Rökgaserna tas ut i nedre delen av eldstaden innan hela bränsleskiktet passerats. Härigenom deltar endast en del av bränslet i förbränningen. Fyrhöjd och effekt kan kontrolleras lättare. Resten av bränslet bildar ett förråd och deltar inte i förbränningen förrän senare.

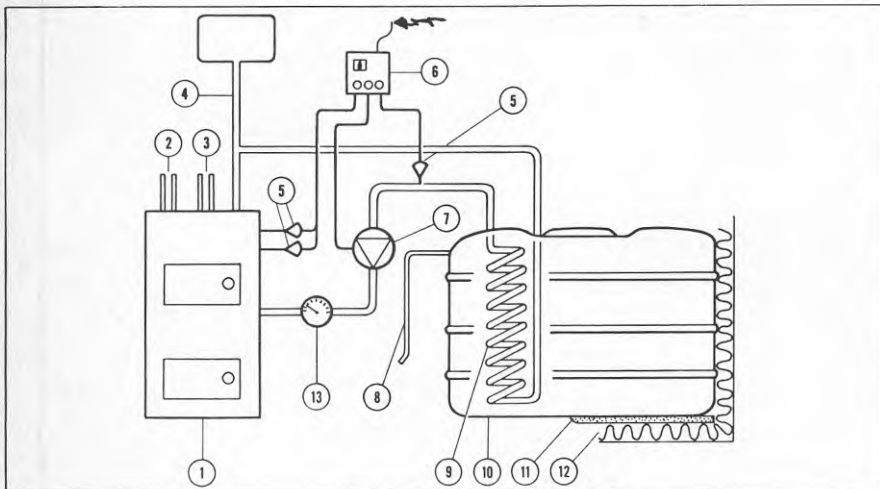


Omvänd förbränning

Vid omvänd förbränning tas förbränningsluften in ovanför/i höjd med fyren/rosten. Förbränningssgaserna får passera ned genom det glödande kolskiktet på rosten. Rökgaserna tas ut under rosten. Vid den omvända förbränningen passerar förbränningssgaserna genom det glödande kolskiktet i eldstaden. Härigenom antänds och förbränns tjärångorna mer effektivt än vid t ex överförbränning, där sannolikheten för att oförbrända pyrolysgaser skall "slinka" förbi är avsevärt större.



Konvertering av oljetank till ackumulator, AB Iggesunds Bruk.



Bildförklaring

- | | | |
|--------------------------|---|----------------------------------|
| 1. Vedpanna | 6. Elektronisk pumpstyrning, 1 fas 220 V 10 A | 9. Värmeväxlare |
| 2. Anslutning varmvatten | 7. Pump 10-40 l/min, 1 fas 220 V | 10. Ackumulator |
| 3. Anslutning radiatorer | 8. Skvallerrör | 11. Spånskiva för viktfordelning |
| 4. Expansionsledning | | 12. Isolering av frigolit |
| 5. Termostat | | 13. Termometer |

Watt värmeackumulator

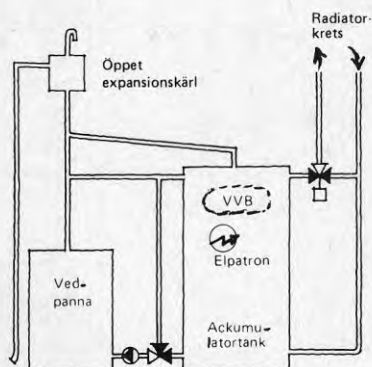
Figur 5. Exempel på "trycklösa" ackumulatorer med indirekt värmeväxling.

Inkoppling av en ackumulatortank till vedpanna (principskiss)

Akkumulatortanken är kopplad i serie med pannan. Shuntgruppen utgår från ackumulatortanken.

Varmvattenberedaren sitter i tankens överdel. Skydd mot överhettning av pannan måste alltså lösas genom att släppa in kallvatten i radiatorkretsen enligt principskissen på föregående sida. För att förhindra tjärbildning i pannan till följd av för låga returtemperaturer från tanken monteras en blandningsventil. Blandningsventilen ställs in så att returvattnet alltid är ca $+50^{\circ}\text{C}$ när det går in i pannan.

Anläggningen är försedd med öppet expansionskärl. Vid slutet system måste pannan och tanken förses med säkerhetsventil.



Inkoppling av flera ackumulatortankar till vedpanna (principskiss)

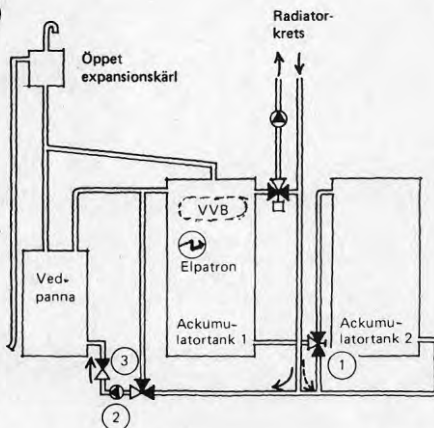
Tankarna är kopplade i serie med pannan. Via trevägsventilen (1) kan man välja att antingen ladda båda tankarna eller bara den första. Shuntgruppen utgår från den första tanken i vilken också varmvattenberedaren sitter. Överhettningsskyddet måste alltså ordnas enligt skissen på föregående sida.

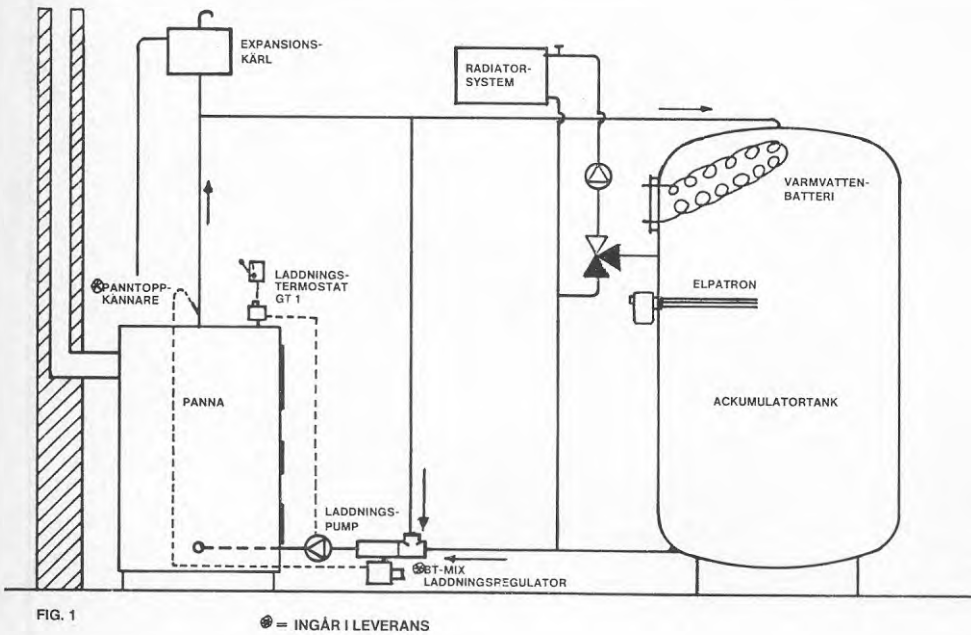
Vid laddning trycker pumpen (2) upp den fjäderbelastade backventilen (3). Returen från radiatorsystemet går då enligt den heldragna pilen.

Vid urladdning går returvattnet den andra vägen enligt den streckade pilen eftersom backventilen (3) förhindrar vattnet att passera genom pannan.

Om båda tankarna är inkopplade går returen till tank 2. Om bara den första tanken är inkopplad går returen från radiatorerna via trevägsventilen (1) till den första tanken.

Pannan och den första tanken är försedda med värmekällor och måste stå i oavstängbar förbindelse med det öppna expansionskärlet.



BT-MIX LADDNINGSREGULATOR TYP AB**Funktion**

BT-MIX är uppbyggd som en trevägs shuntventil. Den blandar kallt tankvatten med hetvatten från panntopp. Blandningsförloppet regleras av en panntoppkännare och en i ventilen inbyggd bimetalltermostat. Typ PB är dessutom utrustad med en elektrisk värmemotor.

Panntoppkännaren har till uppgift att först och främst hålla pannan i önskad arbetstemperatur samt dessutom fungera som säkerhetsventil vid eventuell kokning.



Bimetalltermostaten reglerar direkt i vattenflödet.

Den enkla mekaniska konstruktionen och de väl beprövade komponenterna garanterar för en tillförlitlig och lättskött produkt.

Tekniska data

Anslutning 25 Rörgänga

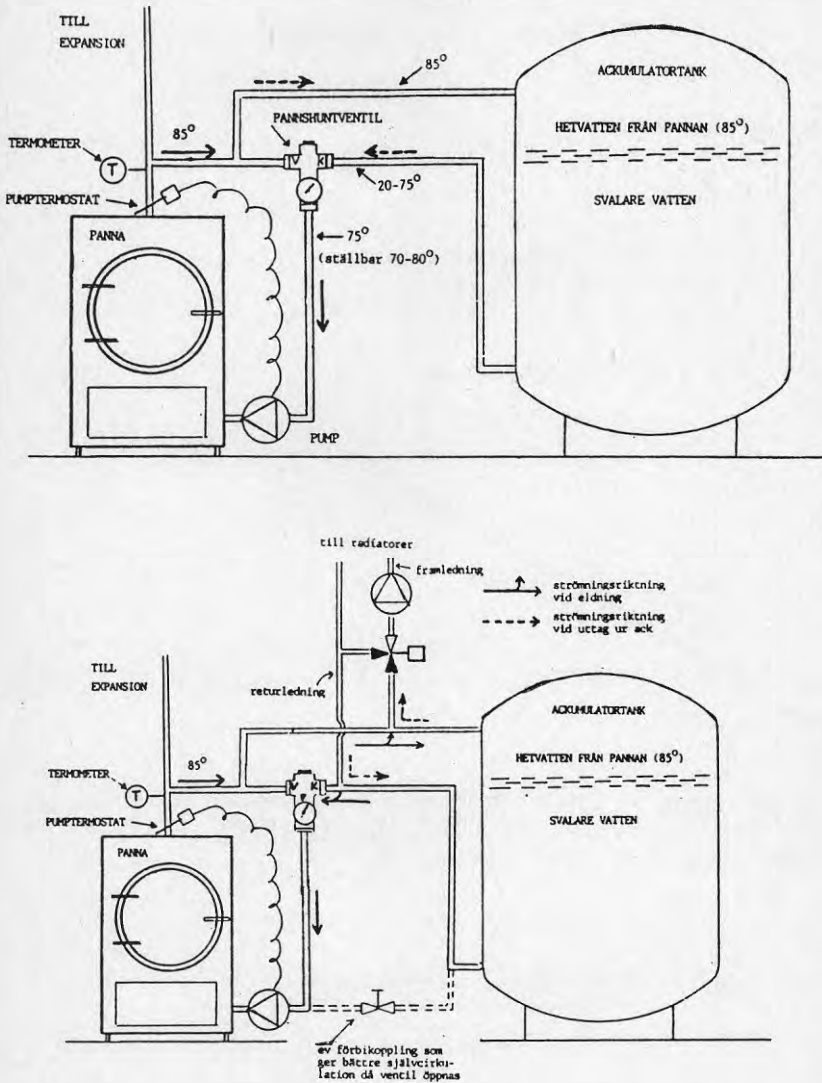
Kv-värde 5.5

Värmemotor typ PB: 220 V  

Rätt till konstruktions- och måttändringar förbehålles

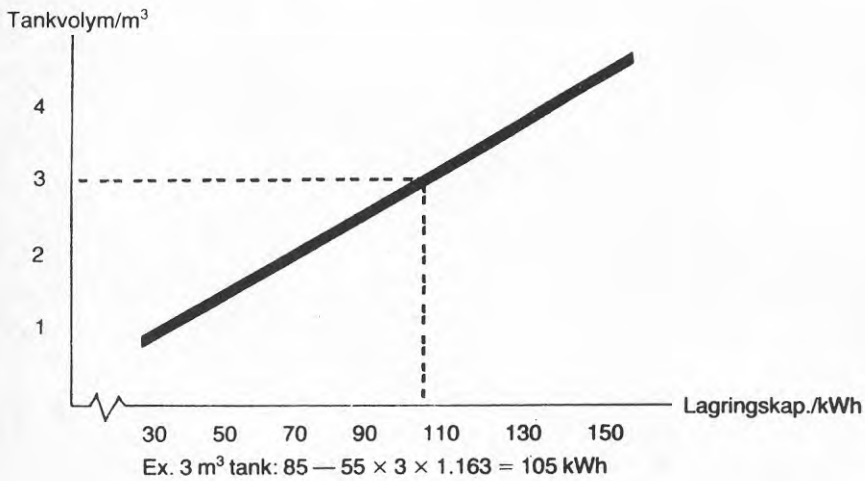
Figur 7. Uppkoppling med laddningsregulator B-T ventiler AB.

KOPPLING PANNA-ACKUMULATORTANK MED AUTOMATISK PANNSHUNTVENTIL

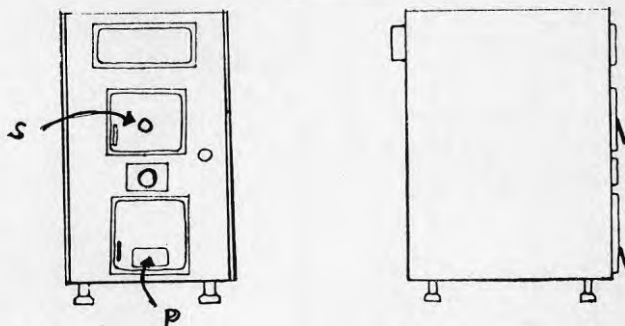


Figur 8. Pannshuntventilinkoppling. Markaryd Metall AB. Vid försöken används en inkoppling enligt den övre figuren.

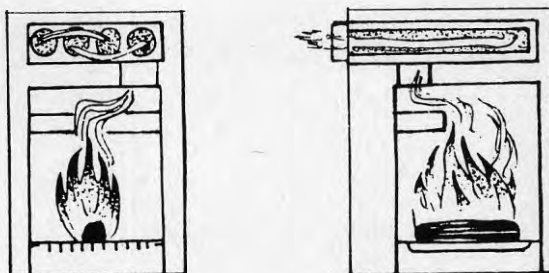
LAGRINGSKAPACITET: Tankstorlek.
Vatten kan lagra 1.163 kWh per °C och m³.
Temperaturintervall max 85°C min 55°C = 30°C



Exteriör



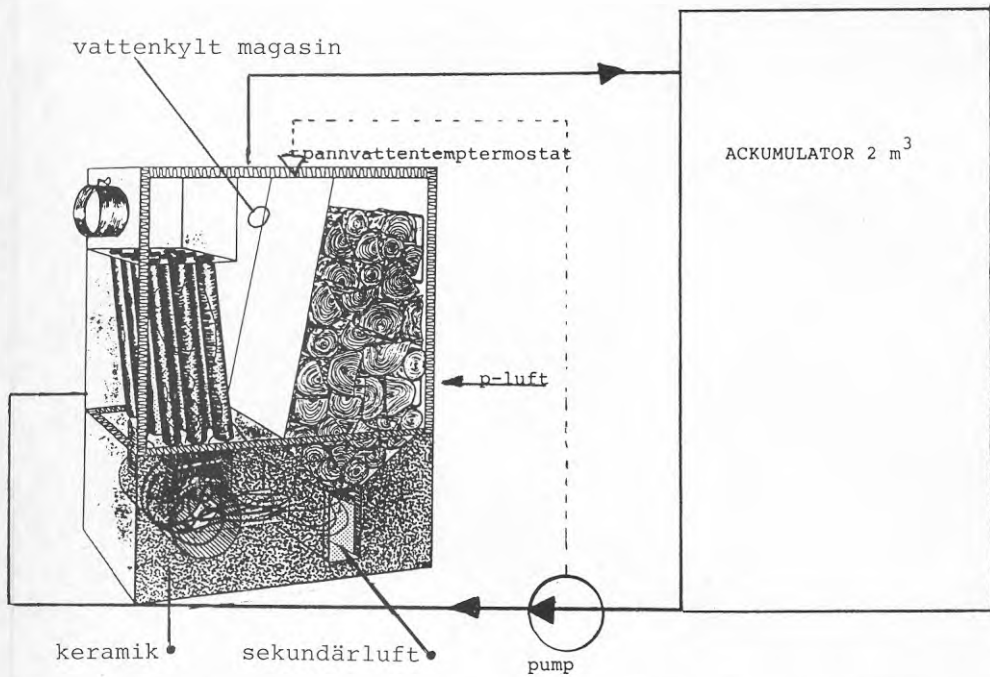
Rökvägar



Överförbränningspanna med vattenkyld eldstad. DIOM-20-UB
(utan varmvattenberedare).

Panneffekt 15 - 20 kW

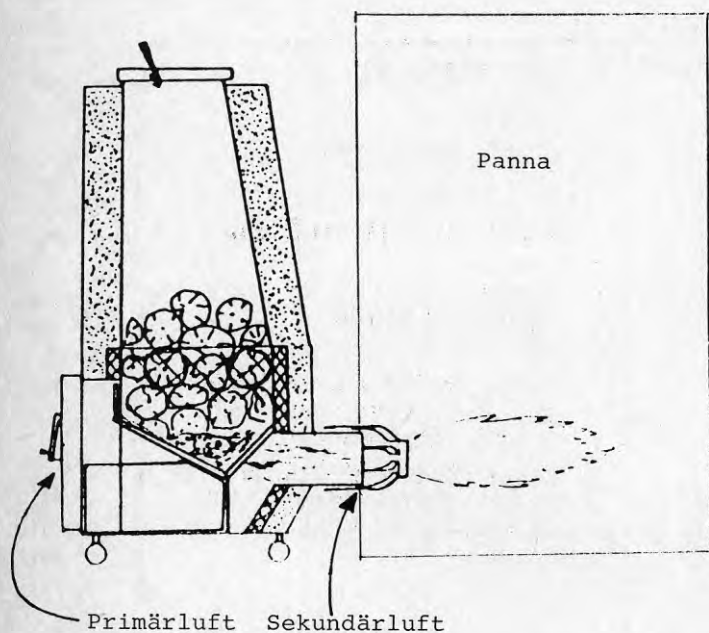
Eldstadsvolym ca 60 l



Magasinspanna med omvänd förbränning på rost i kylt vedmagasin med keramikisolerad hård och sekundärbrännkammare.

Panneffekt 15 - 20 kW

Volym vedmagasin 170 l

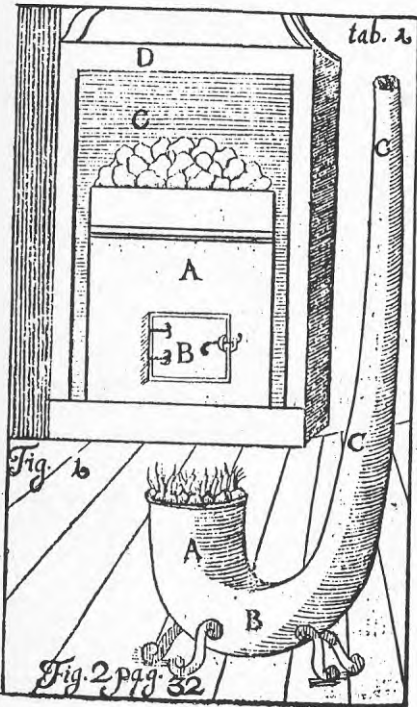


Förugn ansluten till överförbränningspanna.

Förugn tillverkare: Energibesparing i Dalarna AB

Effekt 10 - 30 kW

Volym bränslemagasin ca 90 l



Tab. 1. p. 32.

Fig. 1. Är en Ugn/murat i Spåsen.

- A. Ugnen.
- B. Ugnsdörren.
- C. Klaverstenar op i Ugnen
- D. Spåsen.

Fig. 2. Den nyopfundne Ugnen / som kan stå mitt i Kammaran / uthan at gifwa Oos eller Rök ifrån sig

- A. är nederste Delen med sin Koff / der Koff eller Wedh lägges / så at Flammen och Roken går nederåt till B. C. och ut igenom Pipan C.

"Den nyopfundne Ugnen (som kan stå mitt i Kammaran) uthan at gifwa Oos eller Rök ifrån sig." Bilden visar en fransk uppfinning och återfinns i Urban Hjärnes bok "En liden Oeconomisk Skrifft om Wedsparande", tryckt i Stockholm 1696.

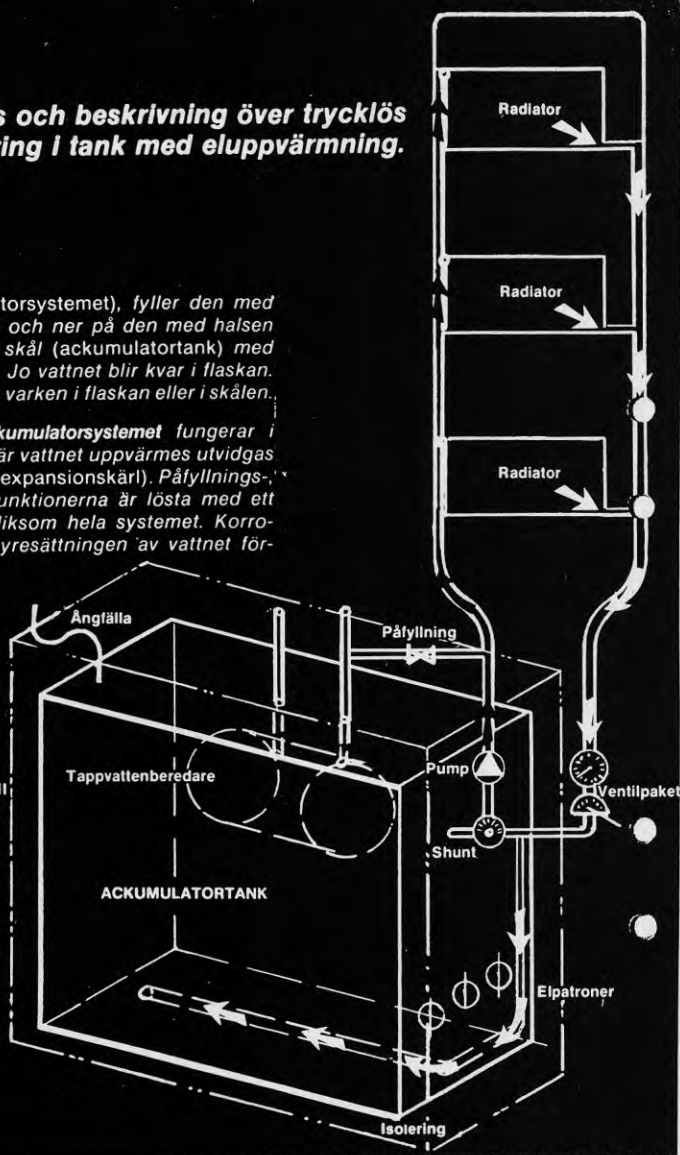
Schematisk skiss och beskrivning över trycklös värmeackumulering i tank med eluppvärmning.

Systemets princip:

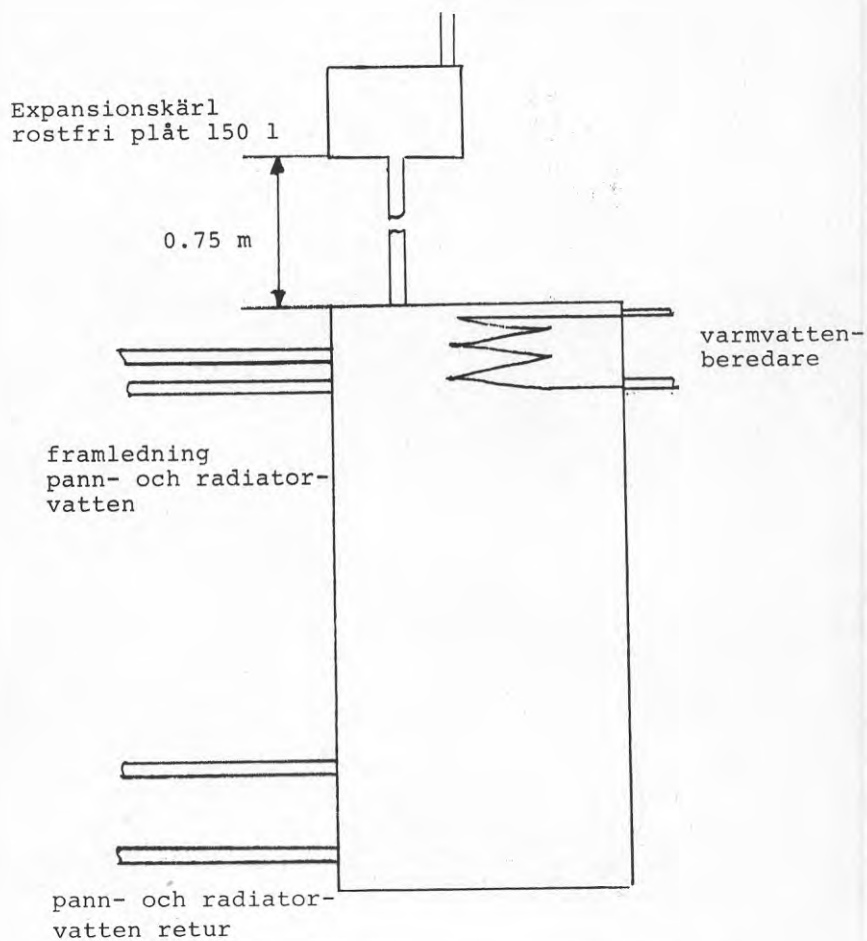
Ni tar en flaska (radiatorsystemet), fyller den med vatten och vänder upp och ner på den med halsen under vattenytan i en skål (ackumulatortank) med vatten. Vad händer? — Jo vattnet blir kvar i flaskan. Det finns ej något tryck varken i flaskan eller i skålen.

Det trycklösa värmeackumulatorsystemet fungerar i princip på detta sätt. När vattnet uppvärms utvidgas det och stiger i tanken (expansionskärl). Påfyllnings-, säkerhets- och reglerfunktionerna är lösta med ett patensökt ventilpaket liksom hela systemet. Korrosionen i tanken och syresättningen av vattnet förhindras av en ångfälla.

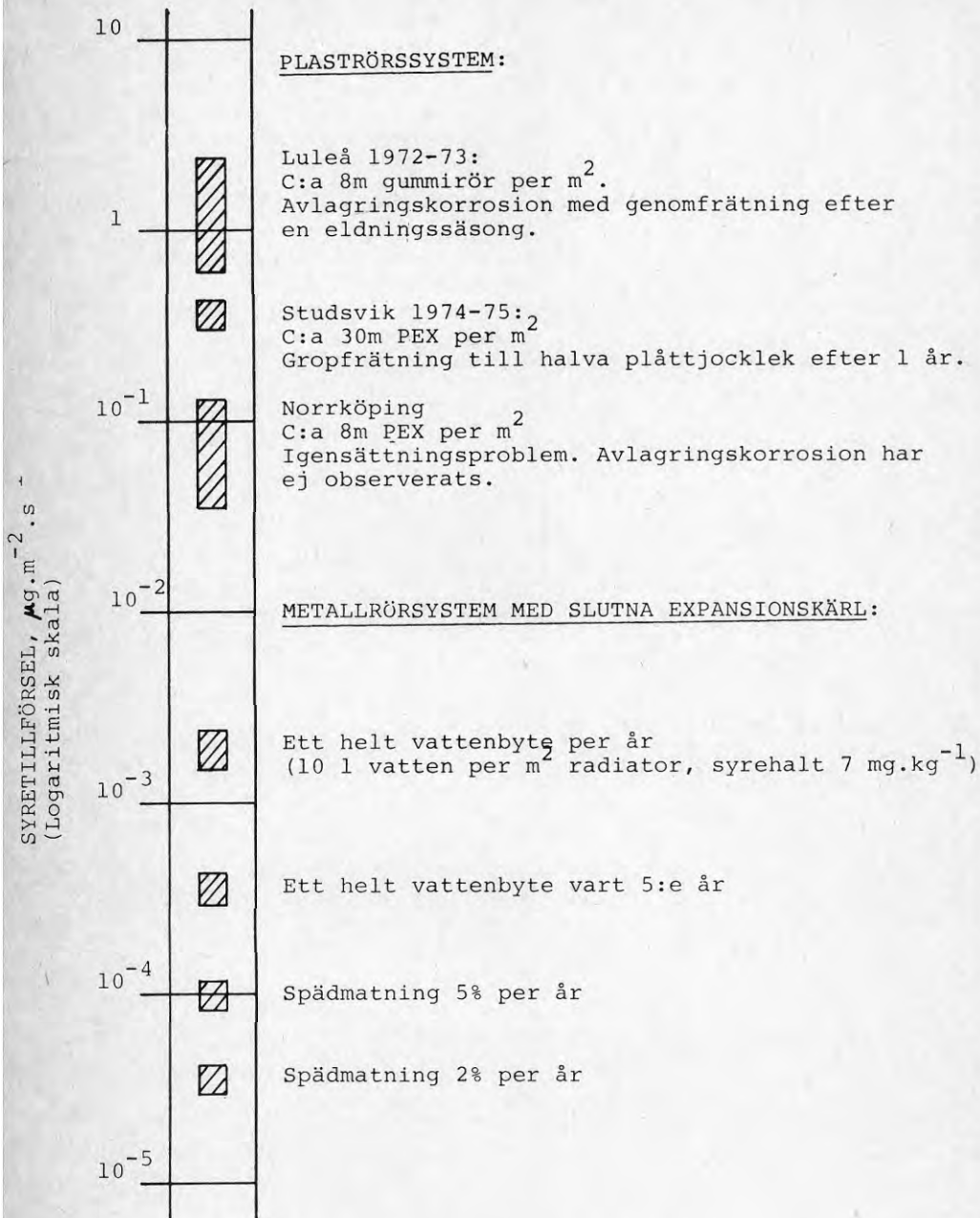
Pat.s. nr: 8106671-4
Godkänt av Statens Planverk
och Arbetskyddsstyrelsen.
Cisternen tillverkad enligt CN VIII



Figur 14. Övertrycksfritt ackumulatorsystem.
Tillverkare AB Skåneverken.



Figur 15. Ackumulator med expansionskärl (1x1x2 m).
Volym 2 m³.



Figur 16. Syretillförseln per ytenhet vattenberörd radiatoryta för några olika värmesystem. För polymerrörssystem avser värdena maximalt möjlig syretillförsel (referens 15).



Orientering: Hydrazindosering i värmeanläggningar utföres för att minska restsyregashalten efter avgasaren. Hydrazinet reagerar med syret till kväve och vatten. Stundom bildas även ammoniak. Hydrazin tillsätts så att ett måttligt överskott erhålles.

Analysprincip:

I vattenlösning bildar hydrazin och p-dimetylaminobensaldehyd en chinoidbindning. Denna ger lösningen en gul färg, som är proportionell mot hydrazinkoncentrationen och kan mätas fotometriskt vid 458nm.

Mätområde: 0,01 - 1mg N_2H_4 /l

Reagens och utrustning:

	Best. nr	Antal
Hydrazinreagens VGB		
p-dimetylaminobensaldehyd- lösning	500ml	31 2438-5 1
Saltsyra konc 37% BAR	1000ml	56 0811-2 1
Hydrazinsulfat pa	100g	51 1146-3 1
Hydrazinstandard 1ml=1mg N_2H_4 (beredes omedelbart före användning: Lös 4,08g hydrazinsulfat $N_2H_4 \cdot H_2SO_4$ i ca 800ml dest. vatten i en 1 l mätkolv. Fyll upp till märket och blanda väl.)		
Blandningscylinder NSpr 25ml	66 1231-1	5
Vollpipett 2ml	66 1524-9	1
Vollpipett 10ml	66 1529-8	2

Utförande: Till 10ml vattenprov i en blandningscylinder sättes 10ml hydrazinreagens och blandas, varefter tillsättes 2ml konc. saltsyra. Samma tillsatser göres till 10ml dest. vatten. Denna lösning användes som blindprov.

Efter 10 minuter mätes absorbansen i fotometer nollställd mot blindprovet vid 458nm eller motsvarande filter vid användning av filterfotometer.

Halten avläses i en kurva uppgjord genom mätningar på standardlösningar, vilka beredes genom utspädning av hydrazinstandardlösning till aktuella koncentrationer.

Referenser: 1. VGB: Analysenverfahren für den Kraftwerksbetrieb, 1962 sid 275
2. ÅF, Matarvatten del 1, 1967 Stockholm

ANALYSBESKED FÖR KOL – COAL ANALYSIS

Lognr – Log No
84-58

REGISTERUPPGIFTER – SAMPLE IDENTIFICATIONS

Uppdragsgivare – Principal Lars Rudling	Provbeteckning – Sample mark Biörkflis
Ursprung – Origin	

PROVTAGNING – SAMPLING

Plats – Sampling place	Datum – Date	Vikt – Weight
Provtagare – Sampling performed by		
<input type="checkbox"/> Studsvik <input type="checkbox"/> SKAB <input type="checkbox"/> Uppdragsgivaren – Principal <input type="checkbox"/> Annan – Other:		

KOLANALYS – COAL ANALYSIS

KVALITETSANALYS – QUALITY ANALYSIS			Analyserat As determined	Leveranstillstånd As received	Torrt Dry weight basis	Torrt o askfritt Dry and ash-free weight basis
Ytfukt – Air dry loss	ISO 1988	%				
Bunden fukt – Fixed moisture	ISO 589 Method B	%	3.2	3.2		
Total fukt – Total moisture		%		3.2		
Askhalt – Ash	ISO 1171	%				
Flykthalt – Volatile matter	ISO 562	%				
Bundet kol – Fixed carbon	ANSI/ASTM D 3172	%				
VÄRMEVÄRDE – CALORIFIC VALUE			ISO 1928/ANSI/ASTM D 3286			
Kalorimetriskt – Gross calorific value	MJ/kg		19.54	19.54	20.19	
Effektivt – Net calorific value	MJ/kg			18.27	18.59	

1 MJ/kg = 238.8 Kcal/kg = 429.9 Btu/lb

ELEMENTARANALYS – ELEMENTAL ANALYSIS						
Kol Carbon	Carlo-Erba	%				
Väte Hydrogen	<input checked="" type="checkbox"/> Carlo-Erba <input type="checkbox"/> Beräknat – Calculated	%	A) 5.9	A) 5.9	5.7	
Kväve Nitrogen	Carlo-Erba	%				
Syre Oxygen	<input type="checkbox"/> Carlo-Erba <input type="checkbox"/> Beräknat – Calculated	%	B) 5.9	B) 5.9		
Svavel Sulphur	Leco	%				
Klor Chlorine	Provberedning ISO 587, Analys XRF By XRF analysis	%				

A) inkl vätet i fukten -- includes hydrogen in the moisture B) inkl syret i fukten -- includes oxygen in the moisture

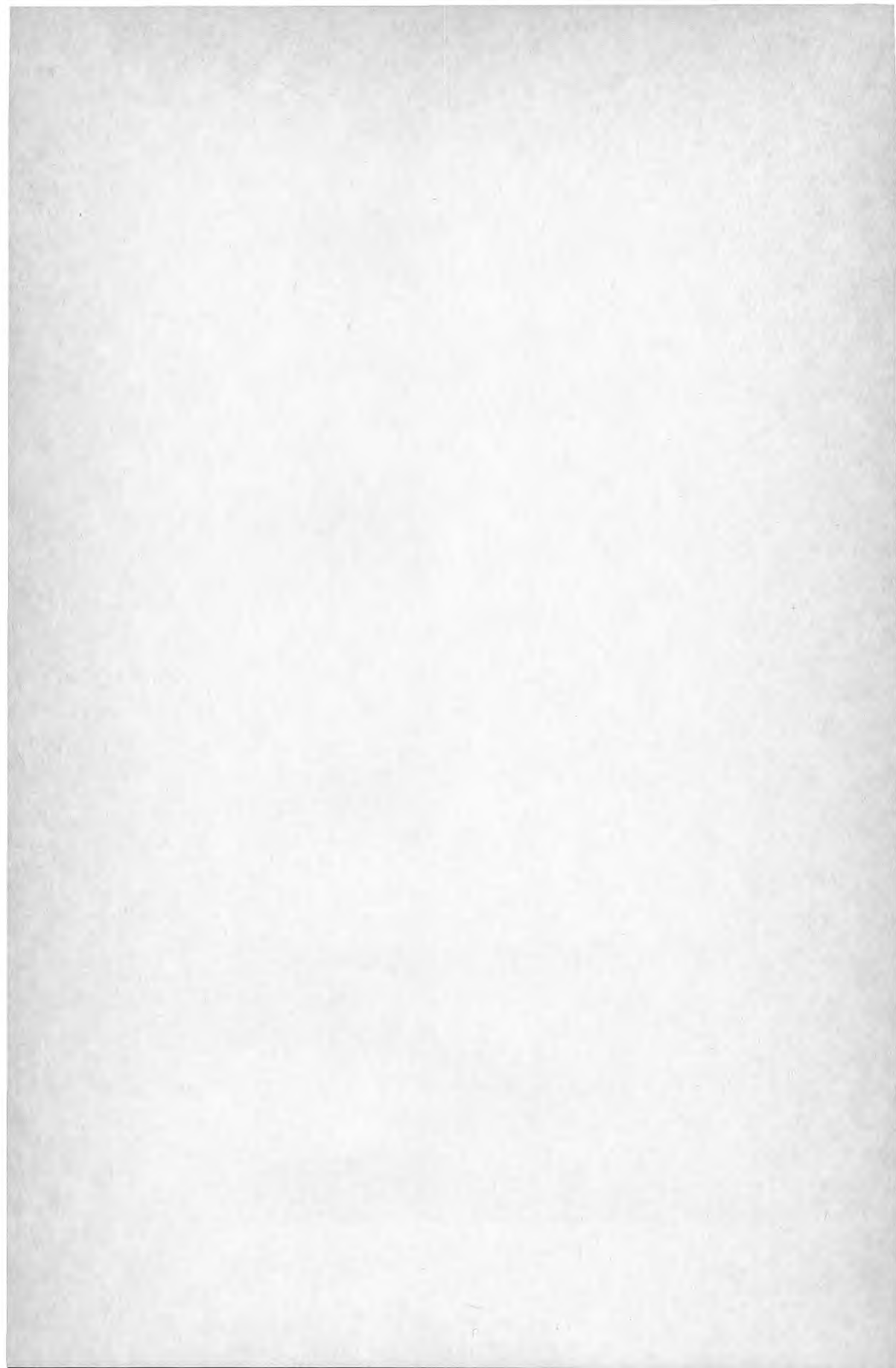
Bilagor – Supplements

<input type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> Anmärkningar – Notations	
Datum – Date 84-02-02	Underskrift – Signature 

BL 3276

Postadress - Postal address Telefon - Phone Telex Telefax Bankgiro - Banking account Postgiro - Postal account

Studsvik Energiteknik AB S-611 82 NYKÖPING SWEDEN Nat 0155-800 00 Int +46155 800 00 640 13 studs Nat 0155-630 44 Int +46155 630 44 330-0670 35 48 92 - 2



**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 830241-7
från Statens råd för byggnadsforskning till Studsvik
Energiteknik AB, Nyköping.**

R4: 1987

ISBN 91-540-4678-5

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6707004

**Abonnemangsgrupp:
W. Installationer**

**Distribution:
Svensk Byggtjänst, Box 7853
103 99 Stockholm**

Cirka pris: 42 kr exkl moms